

А. Я. ФИШ, Ю. М. ТАРНОПОЛЬСКИЙ,
К. А. АКУНЦ и А. В. ПЕТРОВ

КОЛЛЕКТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ПЛАСТМАССЕ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Л. Я. ФИШ, Ю. М. ТАРНОПОЛЬСКИЙ,
К. А. АКУНЦ и А. В. ПЕТРОВ

КОЛЛЕКТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ПЛАСТМАССЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

В книге даны обзор и классификация существующих конструкций коллекторов на пластмассе, применяемых в электрических машинах общего и специального назначения. Рассмотрены принципы конструирования, расчет на прочность и технологический процесс изготовления коллекторов (на пластмассе), а также приведен проектировочный расчет элементов конструкции. Кроме того, дано описание пластмасс, применяемых для изготовления корпусов коллекторов, и приведены рекомендации по выбору пластмасс и оптимальных технологических режимов.

Книга может быть полезной специалистам, занимающимся проектированием и изготовлением электрических машин, и студентам при изучении курсов электрических машин.

Фиш Арон Яковлевич, Гарнопольский Юрий Матвеевич,
Акунц Карлс Арменакович, Петров Александр Васильевич

Коллекторы электрических машин на пластмассе, М. — Л.,
Госэнергоиздат, 1963, 102 стр. с черт.

6112. 12

актор К. К. Попов

Техн. редактор Н. А. Бульдяев

но в набор 29/XI 1962 г.

Подписано к печати 6/II 1963 г.

149 Бумага 84×108/16

9,84 п. л.

Уч.-изд. л. 10,6

аж 7 200 экз.

Цена 53 коп.

Зак. 2700

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современных электрических машинах, выпускаемых отечественной электротехнической промышленностью, коллекторы на пластмассе находят все большее применение, и в настоящее время уже накоплен достаточный опыт производства и эксплуатации подобных коллекторов.

Способствовать выбору рациональной конструкции коллектора на пластмассе и передовой технологии его изготовления составляет основную задачу этой книги.

В основу книги, помимо литературных источников и материалов предприятий и научно-исследовательских институтов, положены опыт работы Специального конструкторского бюро Рижского электромашиностроительного завода и Института автоматики и механики АН Латв. ССР по конструированию и изготовлению коллекторов на пластмассе, материалы бригады ГНТК СССР по внедрению пластмасс в производство коллекторов электрических машин и исследования авторов по этому вопросу. Использован опыт работы ряда отечественных и зарубежных электромашиностроительных заводов.

Книга написана А. Я. Фишем, Ю. М. Гарнопольским и К. А. Акунцем. В работе над материалом § 2, 3, 4 принимал участие А. В. Петров.

Авторы признательны Главному специалисту Государственного комитета по координации научно-исследовательских работ П. З. Никитину за содействие и помощь при решении организационных и технических вопросов, связанных с созданием коллекторов на пластмассе и внедрением их в производство.

Замечания по книге просьба направлять в Госэнергоиздат по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Авторы

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Конструкции коллекторов на пластмассе	5
1. Особенности конструкции коллекторов на пластмассе	5
2. Эксплуатационные требования	13
3. Классификация коллекторов на пластмассе	22
4. Коллекторы с профильными пластинами	25
5. Коллекторы с пластинами, образованными разделением цельной заготовки	45
Глава вторая. Элементы конструкции	56
6. Коллекторные пластины	56
7. Изоляционные прокладки	70
8. Армировочные кольца	76
9. Втулки коллектора	79
10. Пластмассовый корпус	80
Глава третья. Пластмассы для коллекторов	85
11. Обзор применяемых пластмасс	85
12. Использование пластмасс К-6 и АГ-4	92
13. Эпоксидные компаунды для коллекторов	99
14. Оптимальные технологические режимы	101
15. Хранение и подготовка прессматериала	106
Глава четвертая. Проектирование коллекторов на пластмассе	112
16. Нагрузки, действующие на элементы коллектора	112
17. Арочный распор	115
18. Выбор конструкции	123
19. Расчет прочности	125
Глава пятая. Изготовление коллекторов на пластмассе	141
20. Изготовление деталей и сборка коллектора	141
21. Пресс-формы и прессовое оборудование	150
22. Прессование корпуса и обработка коллектора	160
23. Испытание коллекторов на пластмассе	168
24. Изготовление коллекторов с пластинами из цельной за- готовки	172
Глава шестая. Эффективность применения коллекторов на пластмассе	183
Литература	190

ГЛАВА ПЕРВАЯ

КОНСТРУКЦИИ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

а) Общие данные

Одной из областей машиностроения, в которых наиболее перспективно применение пластмасс, является электромашиностроение. Это обусловлено тем, что в рациональных конструкциях электрических машин удается использовать сочетание высокой механической прочности и термостойкости ряда пластмасс с их хорошими электроизоляционными свойствами. В частности, в настоящее время механически и электрически прочные пластиковые массы находят все большее применение в конструкциях коллекторов электрических машин.

Одним из первых предприятий по использованию пластмасс в коллекторах электрических машин является Прокопьевский завод «Электромашина». Несколько сотен тысяч машин, выпущенных этим заводом, успешно работают во всех отраслях народного хозяйства. Рижский электромашиностроительный завод в течение последних 10 лет также строит машины с коллекторами на пластмассе. В 1960—1961 гг. заводом освоено серийное производство коллекторов на пластмассе, имеющих диаметр 315 мм, а с 1962 г. выпускаются машины с коллектором на пластмассе, диаметр рабочей поверхности которого равен 460 мм.

В настоящее время более 20 заводов страны ведут работы по использованию пластмасс для конструкций коллекторов в широком диапазоне диаметров от микроколлекторов до самых крупных включительно при рабочих скоростях до 50 м/сек. В табл. 1 приведены основ-

Таблица 1

Основные характеристики коллекторов на пластмассе, выпускаемых некоторыми отечественными и зарубежными заводами

п/п №	Наименование предприятия	Количество исполненных	Минимальный и максимальный диаметры коллектора ¹ , мм	Напряжение на коллекторе, в	Максимальные окружные скорости в эксплуатации, м/сек	Марка пластмассы
1	Проктолевский завод "Электромашина"	26	28,5—128	24—320	30	К-6, АГ-4В
2	Рижский электромашиностроительный завод	8	72—460/520	30—3 000	55	К-6, АГ-4 САГ-4В, Термолит
3	Харьковский электромеханический завод	1	94	220	10	АГ-4В, АГ-4С
4	Ленинградский завод "Электрик"	4	26—230	65—220	35	
5	Вильнюсский завод электросварочных машин	1	178	65	18	К-6
6	Потийский завод электромашинных установок	3	72—124/179	30—220	15	К-6
7	Армянский электрозавод (г. Ереван)	1*	140	220	15	К-6
8	Свободинский электромеханический завод	1	80	30	23	К-6
9	Московский "Электрозавод"	5	40—47	12	20	К-6
10	Ростовский завод "Электромашинстроймент"	6	22—33	220	24	К-6
11	Завод "Фимат" в Фюрстенвальде, ГДР	200	7—200	12—440	30	Пресспорошок 5006/8
12	Завод специальных электрических машин в Булапеште, Венгрия	81	12,5—120			Бакелитовый пресспорошок Полиэстр-160
13	Завод Сименс-Шуккерт в Вене, Австрия		40—170		50	Эпоксидный компаунд; пресспорошок
14	Фирма Nelco, Англия					Фенольный пресспорошок
15	Фирма Гувер, Англия		10—83			То же
16	Фирма Каут и Букс, ФРГ	680	16—35 5,6—370		50	Асбололастики и стеклопластики по DIN 7708

¹ В знаменателе указывается диаметр коллектора по "петушкам", если коллектор имеет цельные "петушки".
* Механический выпрямитель.

ные данные коллекторов на пластмассе, выпускаемых некоторыми электромашиностроительными заводами в СССР и за рубежом.

Представляет несомненный интерес положительный опыт применения коллекторов на пластмассе в электрических машинах, работающих на железнодорожном транспорте, где условия эксплуатации особенно тяжелы. Например, генераторы освещения и тяговые электродвигатели, установленные под вагонами, работают в весьма трудных условиях.

б) Особенности конструкции

Основная особенность коллекторов на пластмассе состоит в том, что у них пластмасса является формирующим, изолирующим и в большинстве исполнений воспринимающим нагрузки элементом конструкции. Принципиальная конструктивная схема коллектора на пластмассе показана на рис. 1. Как видно из рисунка, основными деталями коллектора являются: пакет коллекторных пластин 1 и изоляционных прокладок 2, пластмассовый корпус 3, армировочные кольца 5 и втулка 4. Пакет коллекторных пластин в зависимости от типоразмера коллектора набирается из отдельных профильных пластин или изготавливается из цельной заготовки, разрезаемой на отдельные пластины.

Пластины коллектора изолируются друг от друга изоляционными прокладками из коллекторного миканита, слюдинита или других изоляционных материалов; у коллекторов малых диаметров с пакетом пластин из цельной заготовки изоляционные прокладки иногда заменяются пластмассой корпуса.

Комплект (пакет) медных пластин и изоляционных прокладок закрепляется в несущем пластмассовом кор-

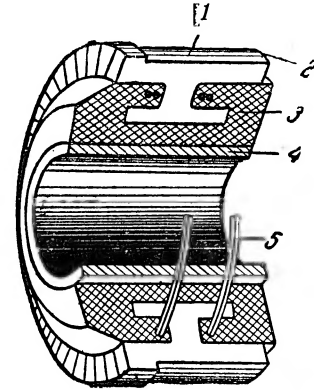


Рис. 1. Схематическое устройство коллектора на пластмассе.

1 — коллекторная пластина; 2 — изоляционная прокладка; 3 — пластмассовый корпус; 4 — коллекторная втулка; 5 — армировочные кольца.

пусе, который выполняется, как правило, из конструкционных пластмасс повышенной механической и электрической прочности. Для коллекторов малых диаметров, работающих при небольших окружных скоростях, могут применяться обычные порошковые прессовочные материалы.

Несущий пластмассовый корпус при необходимости укрепляется армировочными кольцами. При значительных нагрузках и для особо ответственных конструкций армировочные кольца заменяются армировочными узлами.

Для обеспечения посадки на вал и закрепления балансировочных грузов коллектор может иметь центральную металлическую втулку. Как правило, втулки средних и крупных коллекторов имеют вентиляционные каналы.

При небольших диаметрах и рабочих окружных скоростях в отдельных исполнениях коллекторов на пластмассе могут быть исключены центральная втулка, армировочные кольца и изоляционные прокладки; это еще больше упрощает конструкцию коллектора, хотя в описанном варианте коллектор на пластмассе значительно проще аналогичного коллектора с металлическим корпусом и слюдяной изоляцией.

Конструктивная сложность коллектора с металлическим корпусом и слюдяной изоляцией в значительной мере предопределяется жесткими эксплуатационными требованиями. В частности, биение рабочей поверхности, даже у крупных коллекторов, не должно превышать нескольких сотых долей миллиметра, что в свою очередь предъявляет высокие требования к точности изготовления сопрягаемых деталей. Весьма тщательно и качественно должны изготавливаться изоляционные детали, выдерживающие значительные механические, электрические и тепловые нагрузки и при этом призванные сохранять точную форму и размеры рабочей поверхности коллектора.

В коллекторе на пластмассе вся внутренняя поверхность пакета и крепежные выступы коллекторных пластин и изоляционных прокладок весьма плотно охвачены пластмассой, обеспечивающей полную монолитность конструкции, которая в этом случае совершенно не зависит от точности изготовления хвостовой части пластин

любой конфигурации. В этом заключается главное отличие коллекторов на пластмассе; из этого вытекают их преимущества в эксплуатации, упрощается и облегчается технологический процесс их изготовления по сравнению с коллекторами, имеющими металлические корпуса.

У машин постоянного тока и в коллекторных машинах переменного тока вес меди, требующейся на изготовление коллектора, весьма значителен: он примерно равен весу меди обмотки якоря. В машинах с цельными петушками и в машинах низкого напряжения на коллектор в ряде случаев расходуется меди даже на 20—100% больше, чем на секции якоря.

Коллекторы на пластмассе позволяют существенно сократить удельный расход меди на один коллектор за счет уменьшения высоты рабочей и опорной частей коллекторных пластин, а также снижения технологических припусков на обработку пакета пластин коллектора. Это возможно в силу большей монолитности коллектора на пластмассе и за счет выбора оптимальных формы и размеров крепежной части пластин.

Существенной особенностью коллекторов на пластмассе является возможность использования разнообразных конструкций опорной части коллекторных пластин. Почти все коллекторы с металлическими корпусами имеют пластины, хвостовая (крепежная) часть которых в боковой плоскости выполнена в виде так называемого «ласточкина хвоста». Специфика образования пластмассового корпуса позволяет отойти от традиционной формы выполнения крепежных частей коллекторных пластин.

Достаточная текучесть используемых в коллекторах пластических масс в процессе прессования обеспечивает плотное прилегание пластмассового корпуса ко всем сопряженным с ним поверхностям пакета коллектора вне зависимости от их чистоты и точности обработки. Пластмасса хорошо заполняет зазоры между пластинами и местные углубления на их хвостовых частях. Это дает возможность делать различного рода выступы или выемки на боковой поверхности той части пластины, которая закреплена в пластмассе. Число и конфигурация выступов выбираются по соображениям прочности конструкции и экономии материала пластин.

Хорошая способность к формированию пластмасс позволяет использовать для крепления пластин не только различной конфигурации выступы или выемки на боковой поверхности, но и в случае, когда позволяет толщина пластины, ее поперечное сечение. Для этого между пластинами создаются зазоры, достаточные для прохождения массы за счет сужения поперечного сечения опорной части пластины, на которой делаются разнообразные скосы или уступы, удерживающие пластины в пластмассовом корпусе. И, наконец, в ряде конструкций для закрепления пластины в несущем пластмассовом корпусе могут быть совместно использованы и продольное и поперечное сечения опорной части коллекторной пластины. Большое количество исполнений опорной части пластин позволяет подобрать при проектировании

Таблица 2а

Конструктивные исполнения пластин коллекторов на пластмассе

		Профиль поперечного сечения коллекторной пластины по табл. 2в				
		1	2	3	4	5
		Трапециевидный	Клиновидный	Ступенчато-угловой		
Тип крепежных выступов коллекторной пластины по табл. 2г	Ласточкин хвост	1	×	×	×	×
	Т-образный хвост	2	×	○	×	×
	Многokrатный хвост	3	×	○	○	○
		4	×	○	○	○
		5	×	○	○	○
		6	×	○	○	○
		7	×	○	○	○
		8	×	○	○	○
		9	×	○	○	○
		10	×	○	○	○
		11	×	○	○	○
		12	×	○	○	○
		13	×	○	○	○
		14	×	○	○	○
	Винтовой ласточкин хвост	15	×	—	—	—

Таблица 2б

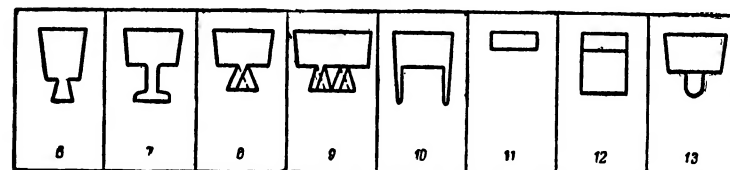
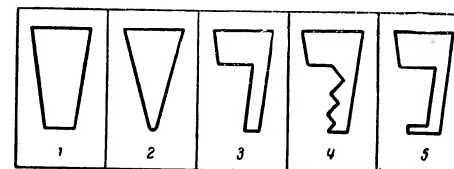
(продолжение табл. 2а)

Конструктивные исполнения пластин коллекторов на пластмассе

		Профиль поперечного сечения коллекторной пластины по табл. 2в							
		6	7	8	9	10	11	12	13
		Ласточкин хвост	Т-образный крепежный выступ	Наклон- ный выступ		Прямоуголь- ный паз	Прямо- уголь- ный		Рогообраз- ный
Тип крепежных выступов коллекторной пластины по табл. 2г	Продольный	16	×						
		17	○	×					
		18		○					
		19		○					
		20	—	—			×		
	С загнутыми концами	21	—	—				×	
		22	—	—				×	
	Рогообразный	23	—	—					×

Таблица 2в

Профили поперечных сечений коллекторных пластин к табл. 2а и 2б

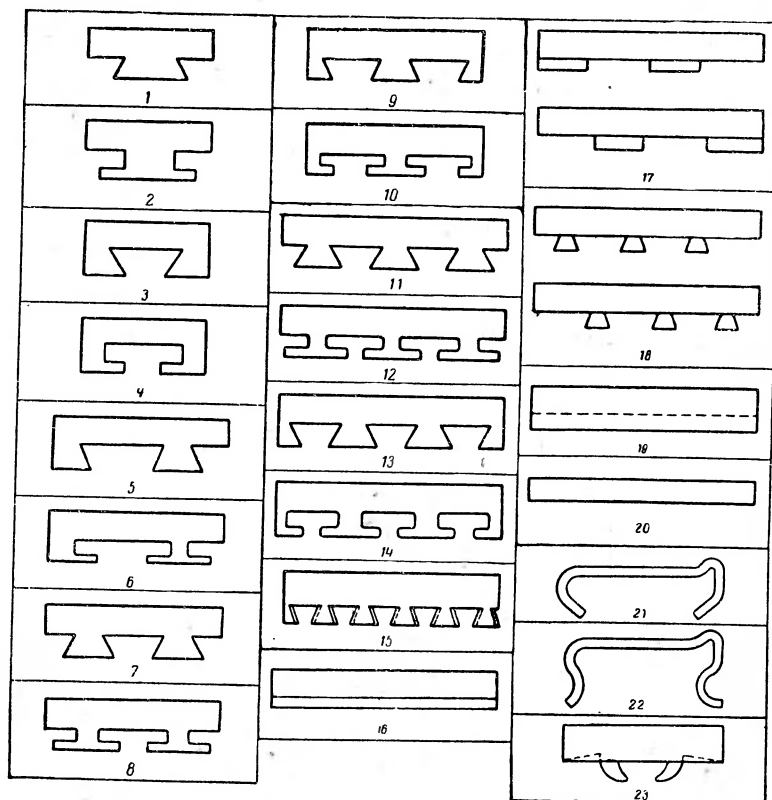


электрической машины наиболее выгодный вариант конструкции коллектора, дающий максимальную экономию материалов при наиболее низкой трудоемкости изготовления и достаточной надежности крепления пластин.

Наиболее распространенные конструктивные варианты исполнения пластин для коллекторов на пластмассе приведены в табл. 2а—2г. В вертикальных столбцах табл. 2а и 2б перечислены конструктивные разновидности опорных выступов на боковой поверхности пластин, а в горизонтальных строках — профили поперечного сечения пластин.

Таблица 2г

Типы крепежных выступов коллекторных пластин
к табл. 2а и 2б



Для удобства при описании конструкций коллекторов на пластмассе каждому типу крепежного выступа по табл. 2г и каждому профилю поперечного сечения пластины по табл. 2в присвоено цифровое обозначение. Всего в таблицах приведены 23 типа крепежных выступов и 13 типов профилей поперечного сечения. Далее в тексте конструкции пластин имеют условное обозначение, состоящее из двух цифр. Так, конструкция пластины с опорным Т-образным выступом и трапециевидальным профилем обозначается цифрами 2-1, а с продольным опорным выступом и профилем в виде ласточкина хвоста — 16-6. В тексте книги условные обозначения конструкций пластин приводятся в дальнейшем без ссылки на эти таблицы.

Применяемые в настоящее время конструкции в табл. 2а и 2б обозначены знаком X. Возможные, но пока еще не получившие распространения сочетания отмечены знаком O.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

а) Сущность эксплуатационных требований

В конструктивном отношении коллектор является одной из наиболее ответственных частей электрической машины. Сущность эксплуатационных требований, предъявляемых к коллектору, сводится к обеспечению удовлетворительной работы скользящего контакта, т. е. условий безыскровой коммутации, в сочетании с малым износом рабочей поверхности пластин и достаточно длительным сроком службы щеток. Наряду с этим коллекторы должны обладать высокими электроизоляционными качествами (пробивная напряженность, дугостойкость и др.), а при использовании их в тяговых, морских и подобных им машинах — также влагостойкостью.

Одним из основных условий, обеспечивающих удовлетворительную работу скользящего контакта, является плотное прилегание щеток к рабочей поверхности коллектора при его вращении с заданной скоростью. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы рабочая поверхность коллектора имела возможно более строго

цилиндрическую форму и геометрическая ось этой поверхности совпадала с осью вращения якоря.

Дефекты, определяющие неудовлетворительную работу скользящего контакта, недостаточно изучены. От основных из них свободны коллекторы на пластмассе. Применение пластмассового корпуса исключает возможность радиального смещения отдельных пластин или групп пластин в процессе эксплуатации машины.

Была приведена серия сравнительных испытаний машин с коллекторами на пластмассе К-6 и машин с коллекторами с металлическими корпусами и миканитовой изоляцией. При испытаниях определялись механическая прочность, срок службы, влагостойкость, бензо- и маслоустойкость, воздействие на коллекторы температуры окружающего воздуха в интервале от -35 до $+180^{\circ}\text{C}$, а также вибро- и ударостойкость. Результаты испытаний показали, что коллекторы с пластмассовыми корпусами не уступают по всем этим показателям коллекторам с металлическими корпусами, а в части сохранения монолитности и цилиндричности рабочей поверхности при длительном воздействии температуры и центробежных сил при высоких окружных скоростях превосходят их.

Так, например, после 200 ч работы в режиме холостого хода электродвигателей, помещенных в термостат с температурой $150-160^{\circ}\text{C}$, имели место следующие результаты:

1. Измеренное индикатором радиальное биение рабочей поверхности коллекторов диаметром 130 мм на пластмассовых корпусах было в норме и практически не изменилось против первоначального.

2. Электродвигатели, имевшие коллекторы с металлическими корпусами, оказались для дальнейшей эксплуатации без ремонта непригодными, так как их коллекторы имели радиальное биение через 100 ч до 0,11 мм, а в конце испытаний — до 0,16 мм. В одном таком электродвигателе после 25 мин работы при повышенной температуре изоляция коллектора была пробита.

В качестве примера на рис. 2 даны графики изменения биения рабочей поверхности коллекторов преобразователя ДК-604 после циклических испытаний. Каждый цикл состоял из часового максимального эксплуатационного режима, затем следовали разгон до скорости

2 000 об/мин и охлаждение в течение 4,5—5 ч. Биение измерялось после испытания на разнос в нагретом и холодном состояниях. После испытаний коллектор на пластмассе с диаметром рабочей поверхности 320 мм практически сохранил первоначальную форму рабочей поверхности.

Вибростойкость проверялась на партии машин с коллекторами на пластмассе путем их испытания в течение 2 ч на двухкомпонентном вибростенде, генерирующем колебания одновременно в плоскости платформы вибростенда и в плоскости, перпендикулярной ей. Амплитуда

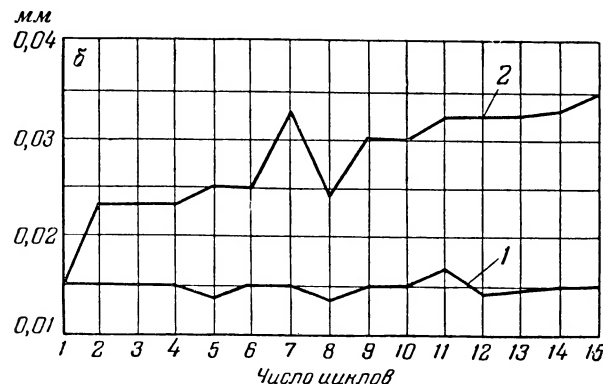


Рис. 2. Кривые изменения биения рабочей поверхности у коллекторов на пластмассе и с металлическим корпусом.

1 — коллектор двигателя преобразователя ДК-604 на пластмассе; 2 — то же генератора преобразователя ДК-604 с металлическим корпусом; δ — биение рабочей поверхности, мм.

колебаний в обеих плоскостях составляла 1 мм, частота — 1 200 пер/мин. Ударостойкость проверялась во всех трех плоскостях. Поврежденных коллекторов при этом обнаружено не было.

Коллекторы на пластмассе значительно лучше выдерживают действие влаги, чем коллекторы с металлическими корпусами. Как известно, влагостойкость считается удовлетворительной, если сопротивление изоляции между пластинами коллектора и валом якоря, измеренное мегомметром на 500 в, составляет не менее 1 Мом после пребывания коллектора в течение 20 суток

в гигростате при относительной влажности 95% и температуре 20° С.

На рис. 3 показана сравнительная влагостойкость коллекторов преобразователя ДК-604. Как видно из графика, после 26 суток нахождения в гигростате сопротивление изоляции пакета коллектора относительно корпуса для коллекторов с металлическим корпусом снизилось до 12 Мом, у коллекторов на пластмассе — до 175 Мом, а в дальнейшем осталось постоянным.

Испытания, проведенные для определения возможности использования коллекторов на пластмассах АГ-4 и К-6 в условиях тропического климата, дали положи-

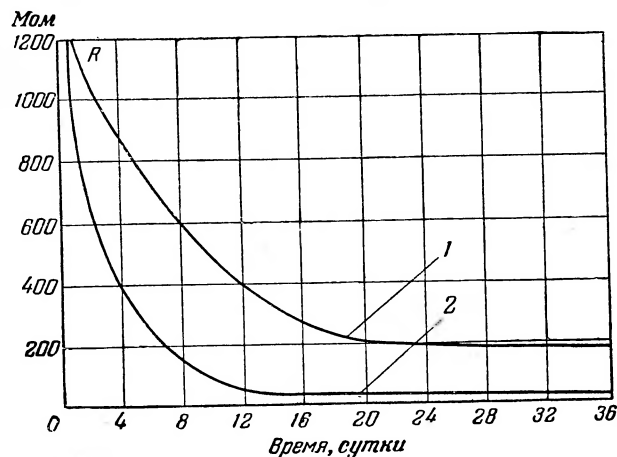


Рис. 3. Зависимость сопротивления коллекторов от времени пребывания в гигростате.

1 — коллектор на пластмассе; 2 — коллектор с металлическим корпусом и миканитовой изоляцией; R — сопротивление изоляции.

тельные результаты. Значительное количество машин постоянного тока с коллекторами на пластмассе К-6 поставлено в Индию на металлургический завод в Бжилаи, где они удовлетворительно работают. В частности, на этом заводе работают электропогрузчики, у которых электродвигатели хода и подъема имеют коллекторы на пластмассе К-6.

Коллекторы, изготовленные на пластмассах АГ-4 и К-6, могут применяться в электрических машинах всех

классов изоляции. Коллекторы на пластмассе К-6 допускают длительную эксплуатацию при температуре 180—190° С; коллекторы на массе АГ-4 могут работать в машинах с изоляцией всех классов от А до Н.

б) Биение коллектора

Особенности конструкции и технологии изготовления коллекторов на пластмассе позволяют с меньшими трудностями получать вполне допустимые величины биения. Биение рабочей поверхности у этих коллекторов в работающей машине обусловлено только нарушением совпадения их оси с осями шеек вала якоря, а также биением, вызванным подшипниками.

Практикой электромашиностроительных заводов и опытом эксплуатации установлено, что допустимая величина биения коллектора, равная удвоенному эксцентриситету оси цилиндрической поверхности коллектора относительно оси шеек вала якоря, весьма незначительна. Так, завод «Электросила» для якорей крупных машин допускает величину этого биения не выше 0,05 мм; завод «Динамо» и Рижский электромашиностроительный завод разрешают для коллекторов диаметром 500 мм, работающих со скоростью вращения, равной 2 000 об/мин, величину биения не более 0,04 мм; Проктопьевский завод «Электромашина» для коллекторов диаметром 60—180 мм при скорости вращения, равной 4 000 об/мин, допускает биение до 0,03 мм.

Выбор допустимой величины биения, не нарушающей нормальной работы машины, производится дифференцированно в зависимости от диаметра и максимальной окружной скорости вращения коллектора.

В [Л. 6] приводятся конкретные рекомендации для коллекторов авиационных электрических машин. Эти рекомендации сведены в табл. 3.

Недостаточность приведенных в этой таблице данных состоит в том, что необходимость уменьшения величины допустимого биения для быстроходных машин здесь не учитывается.

В [Л. 5] приведены данные по допустимому эксцентриситету в зависимости от скорости вращения коллектора. В табл. 4 эти данные удвоены и приведены величины допустимого биения.

Таблица 3
Предельно допустимые величины
биения рабочей поверхности
коллекторов в зависимости от
диаметра [Л. 6]

Диаметр коллек- тора, мм	Предельно допустимая величина биения рабочей поверхности коллектора, мм
До 30	0,01—0,02
30—60	0,015—0,02
60—100	0,02—0,025
100—125	0,025—0,03

В табл. 4 предельно допустимая величина биения не зависит от размеров коллектора. Пользуясь данными таблицы, можно допустить для коллектора диаметром 50—60 мм, работающего со скоростью вращения, равной 3 000 об/мин, величину биения 0,08 мм, а в практике электромашиностроительных заводов эта величина обычно принимается для таких условий не более 0,03 мм. Поэтому данными табл. 4 при практических расчетах пользоваться не рекомендуется. Для определения допустимой величины биения необходимо учитывать как диаметр коллектора, так и скорость его вращения в условиях эксплуатации. Ниже приводится эмпирическая формула (1), по которой рекомендуется определять

Таблица 4
Предельно допустимые величины
биения рабочей поверхности
коллектора в зависимости от
скорости вращения [Л. 5]

Скорость вращения коллектора, об/мин	Предельно допустимая величина биения рабочей поверхности коллек- тора, мм
До 3 000	0,08
3 000—5 000	0,07
5 000—7 000	0,06
7 000—9 000	0,05
9 000—12 000	0,04
12 000—15 000	0,036
15 000—18 000	0,032
18 000—21 000	0,028
21 000—25 000	0,012

величину допустимого биения рабочей поверхности коллектора в зависимости от обоих этих факторов.

$$\delta = 0,047 \frac{D_k^{0,16}}{n_{\max}^{0,14}} \text{ мм}, \quad (1)$$

где D_k — диаметр рабочей поверхности коллектора, мм;
 $n_{\max}$ — наибольшая скорость вращения коллектора работающей машины об/мин.

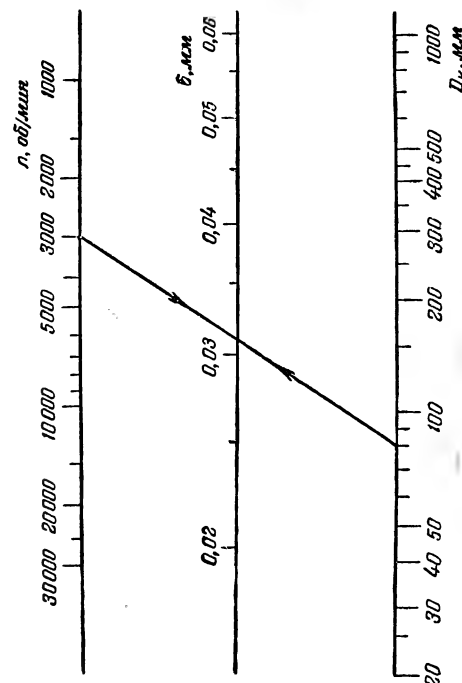


Рис. 4. Номограмма для определения допустимой величины биения коллектора.

Формула

$$\delta = 0,047 \frac{D_k^{0,16}}{n_{\max}^{0,14}} \text{ мм},$$

Пример

$$D_k = 80 \text{ мм};$$

$$n_{\max} = 3000 \text{ об/мин};$$

где D_k — диаметр коллектора, мм;
 $n_{\max}$ — наибольшая скорость вращения в эксплуатации, об/мин.

По номограмме находим;
 $\delta \approx 0,03 \text{ мм}.$

Изменение прочности при растяжении и твердости материалов для коллекторных пластин при повышении температуры

Материал	Температура, °С				
	20	120	250	300	350
<i>Предел прочности при растяжении, кг/мм²</i>					
Медь марки М1	30	24	23	22	19
Медь кадмиевая	32	30	29	28	27
Медь металлокерамическая	30	28	28	26	23
<i>Твердость по Бринеллю</i>					
Медь марки М1	95	80	75	68	40
Медь металлокерамическая	75	67	60	57	49

шиваются более интенсивно, чем пластины из кадмиевой и металлокерамической меди. Это объясняется относительно меньшим изменением механических свойств при повышении температуры у кадмиевых и металлокерамических пластин и тем, что кадмиевая медь имеет большую твердость, а металлокерамика, будучи пористой, лучше прирабатывается при трении. При более высоких температурах лучше указанных выше материалов работает на износ хромовая бронза, имеющая твердость по Бринеллю 130—160.

Необходимо отметить, что применяемая некоторыми электромашиностроительными заводами припайка концов якорных секций к пластинам коллектора в ваннах значительно повышает износ коллектора. Это объясняется тем, что погружение коллектора в ванну с расплавленным припоем, имеющим температуру 300—350° С, и выдерживание его в ванне до тех пор, пока пластины коллектора не достигнут температуры ванны, приводит к существенному снижению твердости коллекторных пластин.

У коллекторов, пластины которых покрыты родием [Л. 53], значительно снижается износ, а также уменьшаются величины переходного сопротивления скользящего контакта и рабочей температуры коллектора.

Износ коллекторных пластин резко возрастает при искрении под щетками коллектора, поскольку интенсивное искрение приводит к обгоранию пластин. Искрение, кроме биения рабочей поверхности коллектора, может вызываться процессами, связанными с коммутацией

Эта формула дается на основе анализа практики заводов, изготавливающих коллекторные машины, и изучения технических условий, утвержденных для поставки машин постоянного тока различным заказчикам.

На рис. 4 приведена построенная по этой формуле номограмма для определения допустимой величины биения коллектора.

Необходимо учесть, что частично биение вызывается неточностями изготовления подшипников качения машины и погрешностями при протачивании коллектора на шейках готового якоря. Поэтому допустимая величина биения самого коллектора должна быть еще меньше указанных величин¹.

Составляющая, обусловленная биением подшипников различных классов, может быть выделена из общей величины биения для облегчения контроля якорей. Для особо ответственных машин с длительным сроком непрерывной работы и затрудненными условиями разборки и ремонта необходимо данные, получаемые по номограмме рис. 5, уменьшить примерно на 0,01 мм.

в) Износ

Следующим эксплуатационным требованием является возможно меньший износ коллектора в условиях эксплуатации, который вызывается совокупностью механических и электрических воздействий на пластины коллектора в зоне скользящего контакта.

Интенсивность износа коллекторных пластин в значительной степени зависит от механических характеристик их материала, в частности его прочности и твердости.

Необходимо учитывать, что эти характеристики снижаются при повышении температуры (табл. 5).

Как видно из табл. 5, наиболее резко при повышении температуры снижаются твердость и предел прочности при растяжении у меди марки М-1. Поэтому, в частности, пластины из этой меди изна-

¹ Для коллекторов с металлическими корпусами такая высокая точность может быть достигнута (при условии рациональной конструкции и наличии высококачественных материалов) только за счет неуклонного выполнения режимов и приемов на всех предусмотренных технологическим процессом операциях при изготовлении отдельных деталей и при сборке. В практике производства электрических машин имеется много примеров, когда отклонения от технологии приводят к массовому браку коллекторов по биению [Л. 10].

тока, а также чрезмерным давлением щеток, что само по себе дополнительно увеличивает взаимный износ и щеток и коллектора. При исчезновении оксидной пленки вследствие истирания ее или недостатка кислорода и влаги в воздухе, искрение также возрастает.

На износ коллектора влияют правильность подбора щеток, а также конструкция их крепления (если щеткодержатели недостаточно жестки или щетки в обоймах щеткодержателя сидят слишком свободно, износ увеличивается) [Л. 36].

У обычных коллекторов с металлическими корпусами вредное искрение и повышенный износ вызываются главным образом изменением первоначальной формы рабочей поверхности коллектора в процессе эксплуатации. Податливость конусов и втулок из миканита вынуждает периодически подтягивать соединения коллектора, после чего необходимо обязательно протачивать коллектор, уменьшая диаметр коллектора при каждой проточке на 0,2—0,6 мм. От этих коренных недостатков свободны коллекторы с пластмассовыми корпусами, монолитность которых не нарушается в эксплуатации. Пластины в пластмассовом корпусе не изменяют своего положения вплоть до разрушения коллектора.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

Конструктивными и технологическими признаками, по которым можно классифицировать существующие конструкции коллекторов на пластмассе, могут служить основные геометрические размеры коллектора (например, рабочий диаметр), использование пластмассы в качестве несущего элемента конструкции, способы крепления пакета коллектора и др. В настоящее время отсутствует общепринятая классификация коллекторов на пластмассе.

В зависимости от рабочего диаметра коллекторы с пластмассовыми корпусами могут быть условно разделены на четыре группы (табл. 6а).

Однако только величина диаметра еще не может полностью характеризовать напряженное состояние, а следовательно, и конструкцию деталей коллектора, воспринимающих нагрузки. Возникающие при эксплуатации

Таблица 6а

№ п/п	Тип коллектора	Диаметр рабочей поверхности коллектора, мм
1	Микроколлекторы	До 20
2	Малые коллекторы	Свыше 20 до 90
3	Средние коллекторы	90 „ 250
4	Крупные коллекторы	Более 250

нагрузки зависят не только от диаметра, но и от окружающей скорости, с которой работает коллектор. Поэтому в одном и том же диапазоне диаметров оказываются принципиально различные конструкции. Это делает не полноценной классификацию коллекторов на пластмассе по величине диаметра рабочей поверхности.

Более удобной оказывается классификация по способу образования пакета коллекторных пластин, которая позволяет разделить существующие конструкции коллекторов на пластмассе на две большие принципиально различные группы (рис. 5):

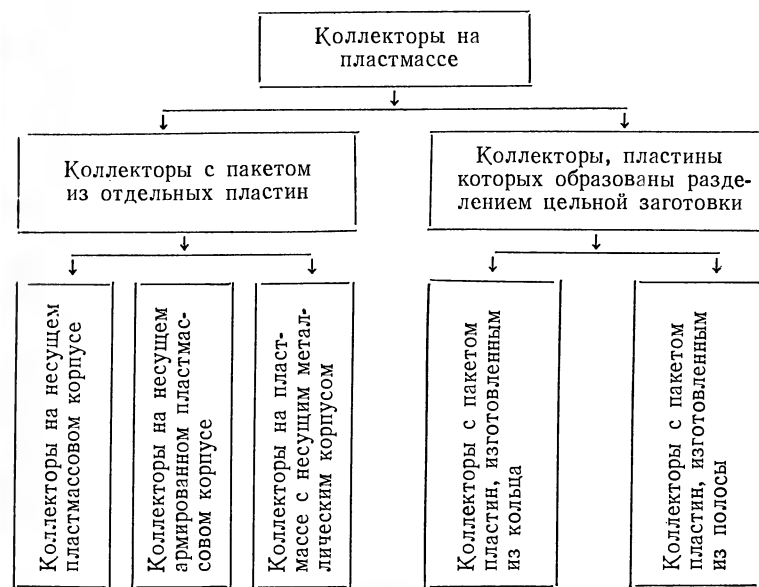


Рис. 5.

1. Коллекторы, у которых пакет собран из отдельных профильных пластин, причем профиль поперечного сечения придается пластинам до сборки их в пакет.

2. Коллекторы, пластины которых образованы разделением цельной заготовки после опрессовки ее пластмассой.

Первая группа охватывает большинство конструкций коллекторов на пластмассе в широком диапазоне диаметров и рабочих окружных скоростей. В коллекторах этой группы находят применение все конструкции пластин, изображенные в табл. 2а, за исключением профиля 2, а также значительная часть конструкций, приведенных в табл. 2б.

По использованию пластмассы в качестве несущего элемента конструкции внутри первой группы могут быть выделены следующие подгруппы:

1. Коллекторы с несущим пластмассовым корпусом, у которых пластмасса является единственным несущим элементом конструкции.

2. Коллекторы с несущим армированным пластмассовым корпусом. Основная особенность коллекторов этой подгруппы состоит в совместном использовании несущей способности пластмассы и армирующих ее деталей, имеющих более высокую, чем пластмасса, механическую прочность.

3. Коллекторы на пластмассе с несущим металлическим корпусом. К этой подгруппе могут быть отнесены конструкции, у которых основную нагрузку воспринимает стальной корпус, а пластмасса играет роль связывающего и изолирующего материала.

Конструкции второй группы, у которых пластины образуются разделением цельной заготовки, в последнее время находят все большее распространение, хотя существующие исполнения пока ограничены небольшими размерами коллекторов.

Цельные заготовки для пакета пластин могут иметь кольцевую форму или сворачиваться из предварительно профилированной полосы (см. рис. 5). В зависимости от этого при описании они разделены на две подгруппы:

1) коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из кольца;

2) коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из полосы.

В такой последовательности и рассматриваются конструкции коллекторов. Отдельные их элементы — коллекторные пластины, изоляционные прокладки, втулки и корпуса, армировочные кольца и силовые кольцевые узлы — описаны в отдельной главе.

Таблица 66

Диаметр рабочей поверхности коллектора, мм	Конструктивное исполнение				
	Коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из кольца	Коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из полосы	Коллекторы на несущем пластмассовом корпусе	Коллекторы на несущем армированном пластмассовом корпусе	Коллекторы на пластмассе с несущим металлическим корпусом
До 20	●	●	—	—	—
20—90	●	—	●	●	●
90—250	—	—	●	●	●
Более 250	—	—	●	●	●

Таблица 66 дает наглядное представление о том, что внутри одной группы (по диаметру) реально осуществляются коллекторы, принципиально различные по конструктивному исполнению.

4. КОЛЛЕКТОРЫ С ПРОФИЛЬНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

а) Коллекторы с несущим корпусом из пластмассы

Внутри этой большой подгруппы существующие конструкции могут быть разделены по способу закрепления опорной (крепежной) части пластины в несущем пластмассовом корпусе на: коллекторы с пластинами, имеющими один или несколько опорных выступов; коллекторы с пластинами ступенчато-углового профиля; коллекторы с пластинами, имеющими продольные опорные выступы.

Рассмотрим эти конструкции.

Коллекторы с пластинами, имеющими один или несколько опорных выступов. Первые исполнения коллекторов на пластмассе выполнялись с пластинами трапе-

цеидального профиля, имеющими один опорный выступ, т. е. с конструкцией пластин I—I и I—2. В качестве примера конструкции этого типа на рис. 6 показан коллектор электродвигателя ДК-907. Профиль пластины трапецеидальный, а опорная часть пластины выполнена с одним выступом в виде обычного ласточкина хвоста (конструкция пластины I—I).

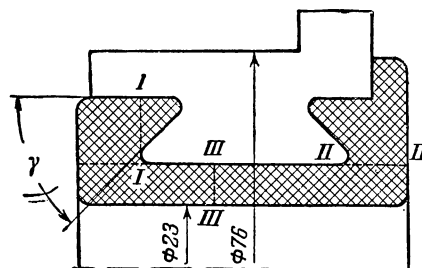


Рис. 6. Коллектор двигателя ДК-907 на пластмассе.

Пластмасса при опрессовке пакета пластин охватывает ласточкин хвост с торцов и после полимеризации плотно удерживает пластины. Для лучшего заполнения выемок пакета и предупреждения отгибания концов

пластин острые углы на опорном выступе и в месте его сопряжения с пластиной скругляются. Радиус скругления принимается равным 1—3 мм*. Скругление углов, кроме улучшения заполнения пакета пластмассой и уменьшения возможности отгибания концов опорных выступов при опрессовке пакета пластмассой, увеличивает также стойкость режущих частей штампов, используемых для изготовления пластин и прокладок.

Прочность пластмассового корпуса подобной формы определяется правильным выбором сечений I—I, II—II и III—III. Размеры опасных сечений, а также высота заделанной в пластмассу части пластины и угол γ определяются при расчете прочности коллектора.

Конструкция пластины с крепежным выступом в виде обычного ласточкина хвоста заимствована из обычных коллекторов с металлическими корпусами и миканитовой изоляцией. В начальный период внедрения коллекторов на пластмассе она имела наибольшее распространение. Некоторым недостатком этой конструкции пластины является расклинивающее действие опорного выступа, заставляющее усиливать сечения II—II и III—III.

Расклинивающее действие пластины устраняется при опорном выступе Т-образной формы (конструкция пла-

стины 2-1). На рис. 7 показаны наиболее распространенные исполнения Т-образного опорного выступа. Переход на Т-образный опорный выступ при сохранении высоты опорной части пластины приводит к уменьшению сечения I—I, а следовательно, и прочности коллектора. Скругляя конец выступа, можно несколько поднять прочность коллектора. Однако при Т-образном опорном выступе увеличивается опасность отгиба пластмассовых кольцевых выступов.

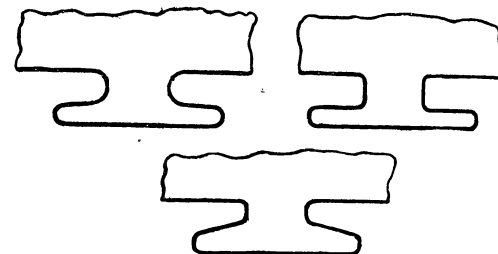


Рис. 7. Конструктивные исполнения Т-образного опорного выступа.

Следует отметить, что Т-образная форма первоначально возникла в связи с необходимостью введения в конструкцию коллектора на пластмассе армировочных колец. Существовавшие до того пластины с ласточкиным хвостом не позволяли фиксировать положение армировочных колец в вырезах опорных выступов в процессе прессования корпуса. В дальнейшем Т-образная форма выступов, не вызывающая расклинивающего действия, стала применяться и в неармированных коллекторах с несущим пластмассовым корпусом.

Весьма заманчивым является создание конструкций коллекторов с заменой традиционных изоляционных прокладок пластмассой. Это сравнительно легко достигается у коллекторов, пакет которых образован из цельной заготовки. Однако изготовление таких коллекторов с пакетом из отдельных пластин наталкивается на серьезные трудности. Известные сейчас конструкции пресс-форм не обеспечивают надежной фиксации пластин. Удерживать пластину можно только за наружную часть, и при прессовании в большинстве случаев пластины смещаются и замыкаются между собой.

* Подобные скругления рекомендуются для пластин всех типов.

В коллекторах с пакетами из отдельных пластин трапецеидального профиля, закрепленных в пластмассе несколькими выступами, используются конструкции пластин 3—1, 4—1, 8—1 и могут применяться конструкции 5—1, 6—1, 7—1, 9—1, 10—1, 11—1, 12—1, 13—1, 14—1. Возможно также применение пластин с опорными выступами, комбинированными из перечисленных выше типов (например, выступ типа 10 с правой частью, выполненной как у типа 6, и др.). Выбор конструкции выступов и их числа определяется при расчете механической прочности коллектора с учетом поведения коллектора при нагревании. При этом наряду с необходимой механической прочностью должен быть обеспечен минимальный расход меди [Л. 46].

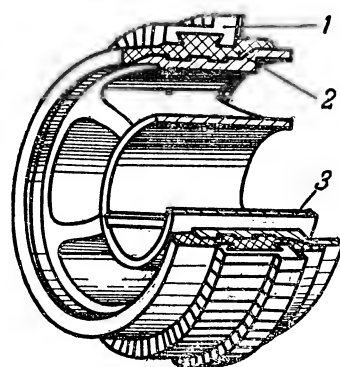


Рис. 8. Коллектор двигателя преобразователя ДК-604.

1 — пакет пластин; 2 — пластмассовый корпус; 3 — стальная втулка с вентиляционными отверстиями.

Одним из представителей этой группы является коллектор двигателя преобразователя типа ДК-604 (рис. 8) с пластинами конструкции 4—1.

На рис. 9 показан коллектор на пластмассе, разработанный для машины постоянного тока единой серии типа П-8. Максимальная эксплуатационная скорость составляет 3000 об/мин. В зависимости от длины пластины имеются три конструктивных варианта, охватывающих восемь исполнений коллектора (табл. 7).

Крайние выступы пластины могут выполняться с одной или двумя опорными поверхностями.

Наличие у крайних выступов двух опорных поверхностей обеспечивает более прочное закрепление пластины в пластмассовом корпусе. Однако такая конструкция при пайке концов секции методом окунания имеет существенный недостаток. Если два или несколько крепежных выступов целиком заделаны в пластмассу, то при нестационарных тепловых режимах возникает опасность появления весьма значительных температурных напряжений в осевом направлении; подобные явления

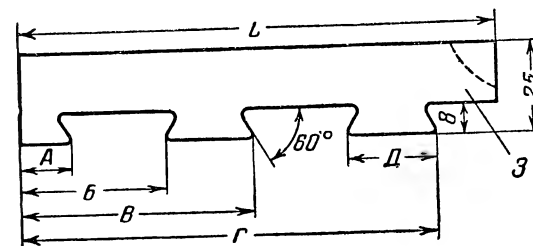
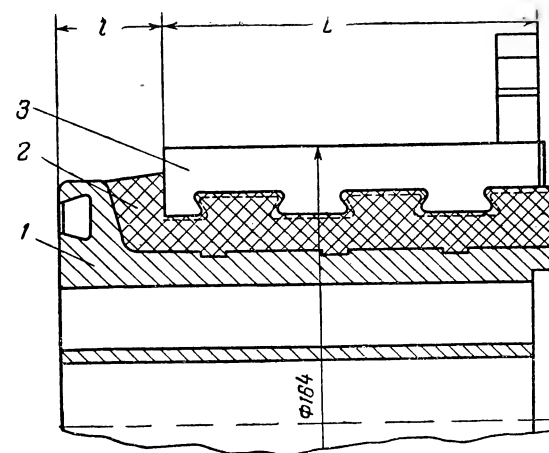


Рис. 9. Коллектор машины постоянного тока единой серии типа П-8.

1 — стальная втулка с вентиляционными отверстиями; 2 — пластмассовый корпус; 3 — коллекторная пластина.

Таблица 7

Различные конструктивные варианты коллекторов на пластмассе для машин типа П-8

Конструктивный вариант	Исполнение коллектора	Число пластин	Размеры						
			L	l	A	B	B	Г	Д
I	1; 5	105, 81	155	35	15	54	79	143	25
II	2; 3; 4; 8	145 99, 117, 111	125	35	13	37	61	109	24
III	6; 7	145, 105	95	65	9	27	44	79	17

возникают иногда и у коллекторов с пластинами, имеющими только один опорный выступ.

Анализ явлений, происходящих при пайке в ваннах, показал, что медные пластины и пластмассовый корпус расширяются с разной скоростью под воздействием тепла, поступающего из ванны с припоем. Хотя у медных пластин и применяемых обычно марок пластмасс коэффициенты линейного расширения почти не различаются между собой (см. табл. 17), коэффициент теплопроводности меди более чем в 1 000 раз выше, чем у пластмассы. Поэтому при погружении коллектора в паяльную ванну с припоем, имеющим температуру 300—350° С, коллекторные пластины через короткий промежуток времени принимают температуру ванны и удлиняются, тогда как пластмассовый корпус за этот период практически не прогревается и не изменяет своих размеров. Это и вызывает в коллекторе значительные осевые усилия.

Методика расчета аксиальных усилий и добавочного арочного распора, вызываемых теплом паяльной ванны и учитываемых при расчете размеров элементов коллектора, приведена в гл. 4.

Изменяя конструкцию крайних выступов и пластмассового корпуса, можно снизить температурные напряжения, возникающие в коллекторе во время пайки в ванне. С этой целью один или оба крайних выступа выполняются только с одной опорной поверхностью. В этом случае пластмассовый корпус позволяет пластине свободно удлиняться в осевом направлении даже при быстром нагревании. При резких охлаждениях выступы коллекторных пластин, как более прочные и более пластичные по сравнению с пластмассовыми, легче переносят температурные напряжения. Пластмасса при этом работает только на сжатие, что менее опасно. Поэтому применение пластин с опорными выступами типов 3, 4, 5, 6, 10 позволяет создать конструкции, на которые нестационарные температурные режимы при пайке в ванне практически не оказывают влияния.

В случае, если пластина имеет цельный петушок, наиболее удачными являются выступы типов 5 и 6. При таком сочетании сохраняется свобода теплового расширения пластины и осуществляется особо прочная заделка ее в пластмассу в наиболее нагруженном месте.

Если длина коллекторной пластины такова, что число опор больше 3, то теряется возможность создания конструкций со свободным удлинением пластины при быстрых температурных изменениях. Это обуславливает, как правило, необходимость отказа от пайки коллекторов в ваннах и требует применения других способов пайки. При сохранении пайки в ваннах возникает необходимость увеличения размеров пластмассового корпуса.

При рассмотрении типов опорной части коллекторных пластин надо иметь в виду, что при нагревании коллектора в ванне для последующей пайки происходит расширение пластины также и в тангенциальном направлении, что приводит к возникновению добавочного арочного распора. Если площадь боковой поверхности выступов достаточно велика, то при этом возникают значительные усилия, которые иногда приводят к разрушению пластмассового корпуса во время пайки в ванне, особенно в коллекторах с толстыми пластинами и малым числом изоляционных прокладок. При наличии в коллекторе большого числа изоляционных прокладок их податливость уменьшает опасность разрушения пластмассового корпуса. Поэтому при прочих равных условиях пластинам, имеющим наименьшую площадь боковой поверхности опорных выступов, следует отдавать предпочтение. С этой точки зрения лучше применять пластину типа 4 с двумя опорными выступами, чем пластину типа 2 с одним выступом.

Конструкция крепления пластин с несколькими выступами более совершенна, чем рассмотренная ранее конструкция с одним выступом. Ее несомненными преимуществами по сравнению с пластинами, имеющими один выступ, являются более равномерное распределение нагрузок по длине пластин и значительно меньшая высота заделанной в пластмассу части пластины при сохранении одинаковой площади опорных поверхностей. Это приводит к экономии дефицитных материалов и снижению эксплуатационных нагрузок.

Коллекторы с пластинами ступенчато-углового профиля. В коллекторах с толщиной пластины в наиболее тонкой части свыше 2—2,5 мм применимы конструкции пластин, опорная часть которых имеет в поперечном сечении ступенчато-угловой профиль. Такая конструкция имеет повышенную механическую прочность по сравне-

нию с рассмотренными ранее за счет усиления пластмассового корпуса ребрами, дополнительного закрепления пластин и снижения их веса, а следовательно, и центробежных нагрузок в эксплуатации.

Применение ступенчато-углового профиля также уменьшает расход материала для коллекторных про-

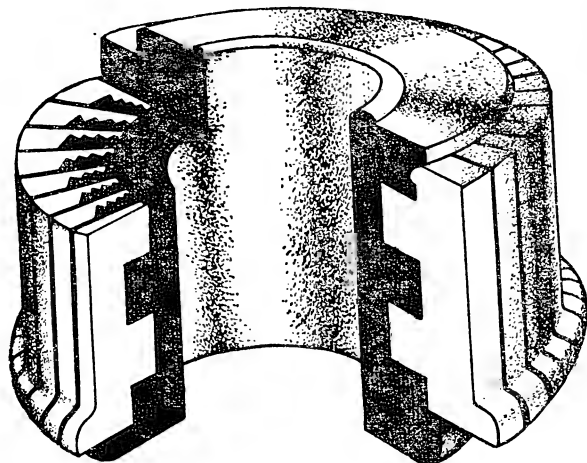


Рис. 10. Коллектор, имеющий пластины ступенчато-углового профиля с рифлением.

кладок: изоляционные прокладки при этом имеют форму прямоугольников, высота которых превышает рабочую высоту пластины лишь на 1,5—2 мм.

В табл. 2а даны три варианта исполнения ступенчато-углового профиля. Для лучшего сцепления пластмассы с металлом и дополнительного закрепления пластины плоскость углубления зачастую выполняется рифленой. Этот профиль в своих конструкциях применяет завод специальных электрических машин в Будапеште (рис. 10). С этой же целью при достаточной толщине пластины на ее тонком конце оставляется прямоугольный выступ (профиль 5).

В собранном пакете в зоне опорных выступов между коллекторными пластинами при ступенчато-угловом их профиле образуются клиновидные пазы. При прессовании корпуса пластмасса охватывает с торцов опорные поверхности и одновременно заполняет эти пазы. Тем

самым пластины фиксируются и удерживаются не только с торцов, но и по боковой поверхности опорных выступов.

Наличие каналов для пластмассы между пластинами позволяет применять добавочное кольцевое скрепление коллектора за счет отверстий в выступах пластин; при запрессовке отверстия заполняются пластмассой через клиновидные зазоры и образуют сплошное пластмассовое кольцо, которое соединяется с корпусом из пластмассы с помощью пластмассовых выступов (ребер). Таким образом, вводится дополнительное крепление, увеличивающее механическую прочность коллектора.

Ступенчато-угловые профили могут применяться для пластин как с одним опорным выступом (типы 1 и 2), так и с несколькими (типы 3—14). Ступенчато-угловой профиль может применяться также в армированных коллекторах и коллекторах на пластмассе с несущим металлическим корпусом. На рис. 19 показан коллектор на составном металлическом корпусе с пластинами ступенчато-углового профиля 3.

Коллекторы с пластинами, имеющими продольные опорные выступы. Эти коллекторы отличаются от описанных ранее тем, что опорный выступ по всей длине пластины в поперечном сечении имеет профиль, позволяющий удерживать пластину в пластмассовом корпусе (рис. 11) [Л. 45]. К конструкциям этого типа относятся коллекторы с пластинами 16—6, 17—6, 18—6 и 19—10. Изоляционные прокладки у коллекторов этой группы имеют форму прямоугольника с высотой и длиной на 1,5—2,0 мм больше соответствующих размеров медных пластин, к которым они прилегают.

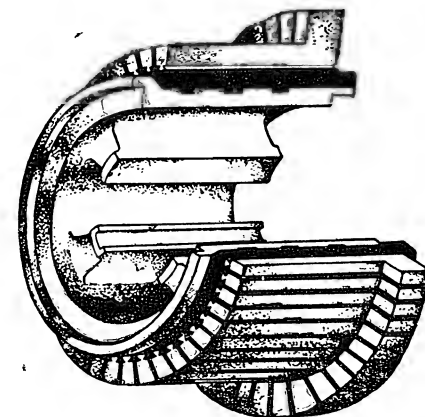
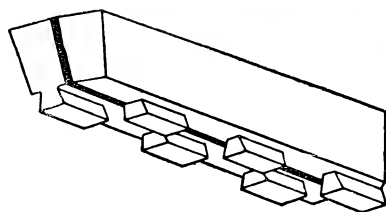


Рис. 11. Коллектор, имеющий пластины с продольными крепежными выступами.

Существенным достоинством коллекторов, имеющих пластины со сплошным продольным «ласточкиным хвостом», является возможность свободной температурной деформации пластин. Однако эти конструкции имеют, как правило, очень высокий коэффициент заполнения коллектора медью, что приводит к некоторому повышению радиальных нагрузок на пластмассовый корпус, особенно при тепловых ударах.



а)



б)

Рис. 12. Пластины с продольными прерывистыми крепежными выступами.

а — пакет пластин в сборочном кольце;
б — две смежные коллекторные пластины с изоляционной прокладкой.

трудно выполнимыми, недостаточно прочными из-за тонких перемычек и могут быть легко смяты пластмассой при ее прессовании.

Поэтому при толщине пластины в нижней части менее 4—5 мм крепежный выступ лучше выполнять прерывистым, располагая выступы соседних пластин в шах-

матном порядке (рис. 12); при этом исключается возможность замыкания соседних пластин при прессовании пластмассового корпуса, облегчается заполнение пластмассой промежутков между опорными выступами и обеспечиваются достаточные толщины пластмассовых перемычек [Л. 45]. Для правильного чередования опорных выступов в шахматном порядке коллекторы, имеющие нечетное число пластин, изготавливаются с одной добавочной пластиной. Чтобы не ухудшить коммутацию, эту пластину оставляют неизолированной от одной из соседних пластин. Возможность соприкосновения между собой выступов соседних пластин устраняется тем, что выемки между выступами делаются на 2—3 мм длиннее выступов.

Конструкция 18—6 отличается от 17—6 тем, что в ней благодаря дополнительному креплению выступов с помощью ласточкиных хвостов значительно усилено закрепление пластин. Дополнительные вырезы легко осуществить при штамповке выступов, соответственно изменив в штампе профиль пуансона и матрицы. Поэтому при использовании пластин с прерывистым ласточкиным хвостом конструкция 18—6 выгоднее, чем 17—6. Конструкции этой группы являются наиболее экономичными

благодаря дополнительному креплению выступов с помощью ласточкиных хвостов значительно усилено закрепление пластин. Дополнительные вырезы легко осуществить при штамповке выступов, соответственно изменив в штампе профиль пуансона и матрицы. Поэтому при использовании пластин с прерывистым ласточкиным хвостом конструкция 18—6 выгоднее, чем 17—6. Конструкции этой группы являются наиболее экономичными

Таблица 8

Сравнительные данные о расходе меди и изоляционных материалов для коллектора генератора преобразователя ДК-604

Вариант конструкции опорной пластины	Параметры пластины				Высота изоляцион- ной прокладки, мм	Расход ма- териала на один пакет коллектора, кг	
	Рабочая высота, мм	Высота части, закрепленной в пластмассе, мм	Общая высота, мм	Вес, кг		Медь	Миканит
Обычный ласточкин хвост (конструкция 1—1)	15	23,5	38,5	0,130	40	20	0,77
Многokrатный ласточкин хвост (конструкция 13—1)	15	7	22	0,095	23,5	12,1	0,450
Продольный ласточкин хвост (конструкция 16—6)	13	7	20	0,084	14,5	11,0	0,280

с точки зрения расхода меди и материала для изоляционных прокладок. Вместе с тем они обладают достаточно высокой механической прочностью. В табл. 8 приведены сравнительные данные о расходе меди и изоляционных материалов для коллектора генератора преобразователя ДК-604.

Заслуживает рассмотрения еще одна конструкция, относящаяся к группе коллекторов, имеющих пластины с продольным опорным выступом. На рис. 13 показан коллектор, разработанный фирмой Каутт и Букс, который имеет пластины с двойным продольным опорным выступом (конструкция пластины 19—10). Выступы получают фрезерованием продольного паза в середине опорной части пластины. Толщина опорных стенок пластины, остающихся после фрезерования, составляет не более 0,5 мм. При опрессовке пластмасса входит в пазы между опорными выступами и разжимает их, дополнительно сдавливая при этом изоляционные прокладки. После полимеризации пластины удерживаются силами сцепления между пластмассовыми выступами и боковыми поверхностями опорной части пластины. Эта конструкция нашла применение для микроколлекторов с достаточно толстыми пластинами. Необходимость фрезерования каждой пластины и относительно невысокая механическая прочность препятствуют широкому применению этой конструкции.

Рис. 13. Коллектор с пластинами, имеющими продольную крепежную выемку (двойной выступ).

Известны попытки применения для микроколлекторов конструкций с прямоугольными пластинами без опорных выступов (рис. 14). Это коллекторы с приклеенными пластинами. Для получения такого коллектора на пластмассовый корпус наклеивают прямоугольные пластины (конструкция 19—13) толщиной 0,8—1,2 мм. При весьма больших преимуществах экономического характера, особенно по расходу меди, эта конструкция имеет серьезные технологические недостатки, препятствующие в настоящее время внедрению ее в производство.

Однако в перспективе, имея в виду появление большого числа новых клеящих составов и совершенствование технологии склеивания, коллекторы с приклеенными пластинами смогут найти применение для микроколлекторов и ряда малых коллекторов.

б) Коллекторы с несущим армированным пластмассовым корпусом

В процессе конструктивного развития коллекторов с пластмассовым корпусом и создания все более нагруженных конструкций прочность несущего пластмассового корпуса оказалась недостаточной. Появилась необходимость армирования корпуса упругими кольцами и совместного использования несущей способности пластмассы и армирующих ее деталей. Применение армировочных колец, работающих совместно с пластмассой, позволило значительно повысить механическую прочность коллектора. Естественным было размещение этих колец в вырезах опорных частей пластин.

Введение армирования в конструкцию требует соответственного исполнения опорных выступов коллекторной пластины. Наиболее легко поддаются армированию конструкции с пластинами, опорные выступы которых имеют Т-образную форму¹. Материал и площадь поперечного сечения кольца определяются расчетом механической прочности коллектора.

В первых исполнениях коллекторов с армированными пластмассовыми корпусами применялись армировочные кольца, подобные показанным на рис. 34, а, б, в и г, а коллекторные пластины с профилями поперечного сечения 1, 3, 4 и 5 и крепежными выступами типов 2, 8 и 10. Армировочные кольца устанавливались с обеих сторон пластин.

¹ Однако при соответствующей конфигурации армирующих деталей армированию могут подвергаться и конструкции, у которых крепежный выступ пластины имеет форму ласточкина хвоста.

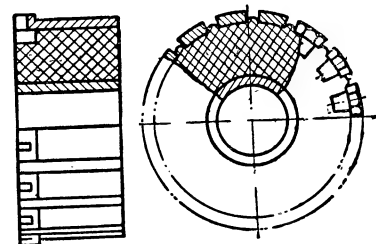


Рис. 14. Коллектор с пластинами без крепежных выступов.

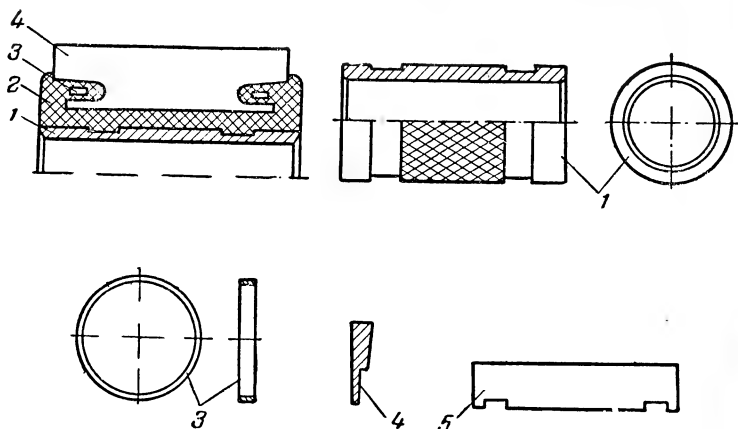


Рис. 15. Коллектор машины серии G с несущим армированным пластмассовым корпусом.

1 — стальная втулка; 2 — пластмассовый корпус; 3 — стальное армировочное кольцо; 4 — коллекторная пластина; 5 — миканитовая прокладка.

На рис. 15 изображена конструкция коллекторов завода «Фимаг», поставляемых для машин средних и малых мощностей серии G, а также для ряда других машин.

На рис. 16 показан коллектор машины типа РД-2 Рижского электромашиностроительного завода. Армировочные кольца аналогичны изображенным на рис. 34, в.

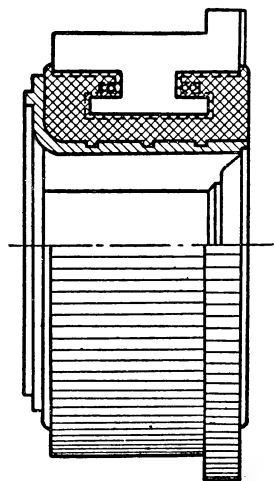


Рис. 16. Коллектор генератора РД-2.

В процессе отработки и освоения конструкций крупных коллекторов с пластмассовыми корпусами был создан ряд новых способов армирования. Один из способов при помощи армировочных узлов позволил создать коллектор с пластмассовым корпусом для тягового двигателя ДК-106, выдерживающий без разрушения окружные скорости свыше 110 м/сек. Якорь с этим коллектором изображен на рис. 17.

Применение армирующих узлов открывает возможности использования в сильно нагруженных коллекторах конструкций пластин, позволяющих им при нагревании свободно перемещаться в аксиальном направлении, не вызывая внутренних напряжений в коллекторе.



Рис. 17. Якорь тягового электродвигателя типа ДК-106 с коллектором на пластмассовом корпусе, армированном силовыми узлами.

У коллекторов с металлическими корпусами при определенном отношении l_k/D_k в сочетании с высокими скоростями вращения приходится отказываться от арочной конструкции коллектора, так как она не обеспечивает нужной монолитности. Существуют так называемые предельные кривые [Л. 21], разграничивающие коллекторы арочного типа и коллекторы с бандажными кольцами¹.

в) Коллекторы на пластмассе с несущим металлическим корпусом

Существует класс конструкций коллекторов на пластмассе, у которых основные нагрузки воспринимает

¹ Необходимо отметить, что в литературе [Л. 6, 10, 17 и 21] иногда приводятся противоречивые данные по параметрам, начиная с которых необходимо переходить на конструкции с бандажными кольцами.

цельный или составной металлический корпус, а пластмасса является лишь материалом, связывающим в единое целое пакет пластин и металлическую основу и изолирующим их друг от друга. Конструкции коллекторов на пластмассе с несущим металлическим корпусом применялись главным образом в первоначальный период

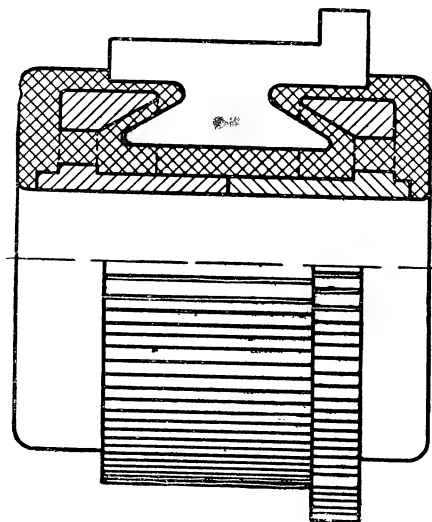


Рис. 18. Коллектор на пластмассе с несущим металлическим корпусом из двух частей, выточенных из цельной заготовки.

внедрения пластмасс в производство коллекторов. Тогда имелись в наличии лишь пластмассы со сравнительно низкой механической прочностью. Более того, их механические свойства были мало изучены. Неясно было, сможет ли длительно работать коллектор, у которого пластмасса несет значительные механические нагрузки. Однако и эти конструкции, на изготовление корпусных деталей которых затрачивалось еще значительное количество металла, уже были весьма прогрессивными по сравнению с обычными коллекторами с миканитовой изоляцией металлических корпусов. Главное, что достигалось в коллекторах, где пластмасса еще не несла больших механических нагрузок, это монолитность пакета пла-

стин в процессе эксплуатации коллектора; вместе с тем при этом появилась возможность отказаться от применения формовочного миканита и прекратить сложное и дорогое производство миканитовых манжет и цилиндров.

На рис. 18 показан коллектор на пластмассе, но с несущим металлическим корпусом. По форме он несколько напоминает корпус обычного коллектора с миканитовой изоляцией, но у него нет резьбовых соединений, изоляционных манжет и цилиндра. Через зазоры и отверстия во фланцах запрессована пластмасса, скрепляющая пакет пластин с металлическим корпусом и обеспечивающая необходимую изоляцию медных пластин от корпуса.

На рис. 19 и 20 показаны коллекторы типа «Эльмо»

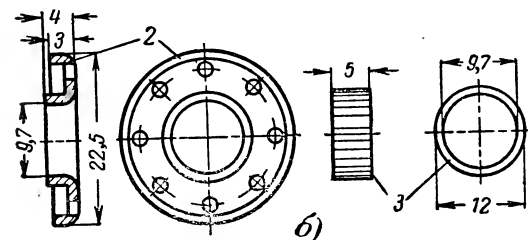
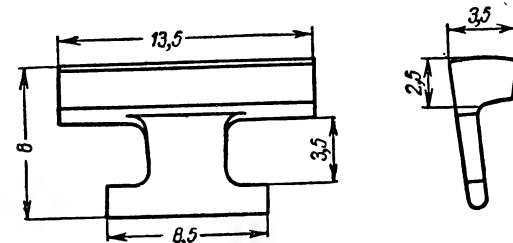
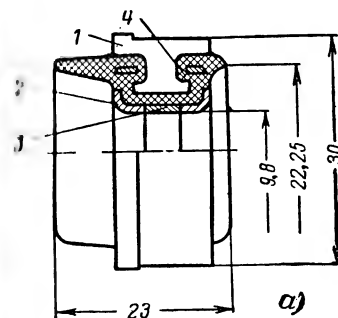


Рис. 19. Коллектор с составным металлическим корпусом конструкции «Эльмо» для малых коллекторов.

а — общий вид коллектора: 1 — медная пластина; 2 — штампованный диск; 3 — центральная втулка; 4 — пластмасса; б — детали коллектора.

с составными металлическими корпусами. Конструкция, приведенная на рис. 19, применяется для малых коллекторов.

Металлический корпус состоит из центральной рифленой втулки 3 и двух штампованных дисков 2, которые насаживаются при опрессовке пластмассой на оправку. Пластмасса продавливается через отверстия в дисках 2 и зазор между дисками и пакетом коллектора.

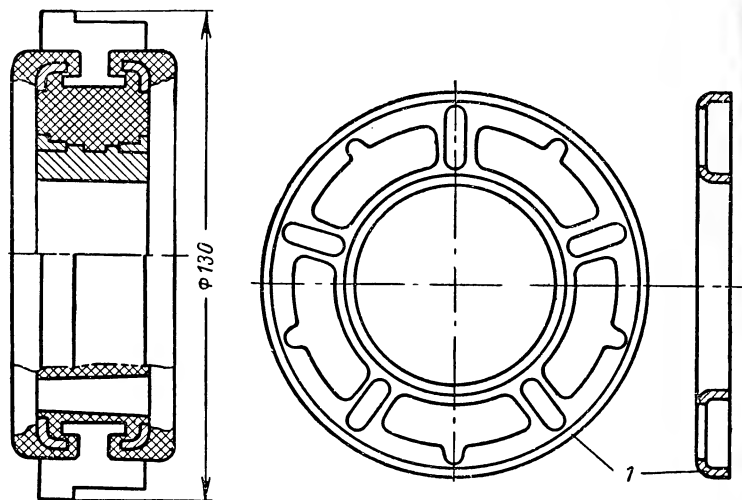


Рис. 20. Коллекторы с составным металлическим корпусом конструкции «Эльмо» для средних коллекторов.

Конструкция, изображенная на рис. 20, применяется для средних коллекторов. Штампованные диски 1 напрессованы на центральную металлическую втулку. На втулке сделаны рифление и канавка для лучшего сцепления с пластмассой. Диски имеют по пять малых овальных отверстий, через которые продавливается пластмасса, и по пять больших отверстий, в которые при опрессовке вставляются оправки, благодаря чему не только образуются аксиальные отверстия для прохождения воздуха, но и обеспечивается более равномерная толщина пластмассовых стенок.

В последнее время появились конструкции коллекторов с металлическим корпусом и изоляцией пакета кол-

лекторных пластин эпоксидным компаундом на базе смолы аралдит с наполнителем из измельченного кварцевого песка. Использование этого принципа позволяет создать высокопрочные и рациональные для мелкосерийного производства конструкции коллекторов на пластмассе. На рис. 21, а изображен коллектор с обычным ласточкиным хвостом.

На рис. 21, б показана конструкция коллектора на аралдите с винтовым ласточкиным хвостом, применяемая австрийской фирмой Сименс Шуккерт (завод в Вене на Энгерштрассе) для ряда ответственных электрических машин.

Опытные работы по применению эпоксидных компаундов для коллекторов начаты фирмой в 1952 г. Завод поставляет коллекторы на аралдите для машин, выпускаемых мелкими партиями, с 1955 г. Основной причиной, побудившей завод применить эти конструкции, явилась необходимость обеспечить монолитность быстроходных коллекторов, которой нельзя было достичь при обычных арочных конструкциях на металле с миканитовой изоляцией.

Так, заводу для одной из машин мощностью 45 квт потребовался коллектор с диаметром по рабочей поверхности 100 мм и длиной 140 мм, предназначенный для ра-

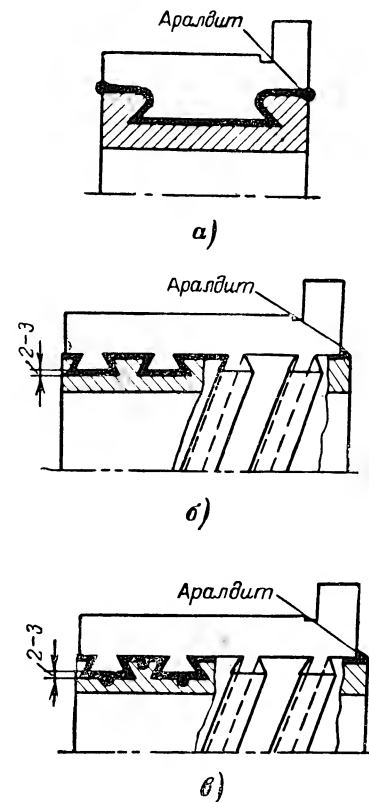


Рис. 21. Коллекторы с несущим металлическим корпусом, аралдитовой изоляцией и различной формой ласточкина хвоста.

а — обычный; б — винтовой; в — винтовой с дополнительной канавкой.

боты при скорости вращения 9 000 об/мин. При испытании такого коллектора, выполненного в металле, при повышенной скорости вращения (14 000 об/мин) коллекторные пластины перемещались и коллектор терял работоспособность. После перехода на коллектор на аралдите никаких нарушений монолитности коллектора как при заводских испытаниях при повышенной скорости вращения, так и в эксплуатации не наблюдается.

Машину постоянного тока мощностью 200 кВт в двигательном режиме и 250 кВт в генераторном режиме при нормальной скорости вращения 5 000 об/мин завод предоставляет также с коллектором на аралдите. Диаметр коллектора 170 мм, длина пластин 200 мм. Испытание коллектора производится при скорости вращения 6 600 об/мин в течение 20 мин в холодном состоянии. В установившемся режиме при номинальных данных температура на коллекторе составляет 98° С. По техническим условиям каждый час разрешается при номинальной скорости вращения перегрузка машины в течение 1 мин на 100% или в течение 3 мин на 50%, а также превышение номинальной скорости вращения на 10% в течение 30 сек.

Другие австрийские электромашиностроительные заводы отказались от принятия заказа на машины с этими коллекторами, считая, что они не могут обеспечить изготовление коллектора с указанным невыгодным соотношением длины и диаметра, пригодного для эксплуатации при такой высокой скорости вращения.

Руководствуясь кривыми Б. Н. Красовского [Л. 21], в основу построения которых положены опытные данные ленинградского завода «Электросила», оба этих коллектора, если бы они были на металле, надо изготавливать, применяя сложные дорогие конструкции с бандажными кольцами втулочного или мембранного типа или также трудно выполнимую комбинированную конструкцию арочного типа с бандажным кольцом в середине рабочей поверхности коллектора.

Материал втулок (корпусов) должен быть таким, чтобы его коэффициент линейного расширения незначительно отличался от коэффициента линейного расширения медных пластин. Поэтому корпус подобного коллектора обычно вытачивается из бронзы; на нем делается резьба, сечение которой имеет форму ласточкина хвоста.

Таблица 9

Основные характеристики коллекторов, изготавливаемых австрийской фирмой Сименс-Шуккерт на аралдите с пластинами, имеющими винтовой ласточкин хвост

Диаметр коллектора, мм	Длина коллектора, мм	Рабочая окружная скорость, м/сек
100	140	47
170	200	45

В пакете коллекторных пластин, опрессованных в сборочном кольце, также вытачивается винтовой ласточкин хвост несколько большего сечения. При этом коллекторные пластины получают форму 15—1. Коллекторный корпус ввинчивается в пакет пластин подобно болтовому соединению. Зазор между пластинами и корпусом, заполняемый массой аралдита, составляет 2—3 мм.

Для облегчения заливки компаунда, а также для обеспечения возможности использования других пластических масс, обладающих худшей текучестью, чем аралдит, могут применяться конструкции коллекторов на пластмассе с винтовым ласточкиным хвостом, имеющим дополнительные канавки на корпусе, как это показано на рис. 21, в [Л. 54]. Необходимо отметить, что конструкция коллекторов на аралдите с применением винтовых ласточкиных хвостов дает возможность получить значительную экономию коллекторной меди. У таких пластин хвостовая часть уменьшается по высоте; соответственно уменьшается расход меди и коллекторного миканита. Однако получаемая экономия меди не компенсирует значительного расхода бронзы на изготовление коллекторной втулки.

5. КОЛЛЕКТОРЫ С ПЛАСТИНАМИ, ОБРАЗОВАННЫМИ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦЕЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ

а) Коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из кольца

В коллекторах на пластмассе, пакеты которых собраны из отдельных профильных пластин, несмотря на их прогрессивность по сравнению с коллекторами на метал-

лических корпусах, все же остается ряд конструктивных недостатков. Это, во-первых, неполное использование материала, идущего на изготовление пластин, во-вторых, наличие изоляции между пластинами и, в-третьих, значительная трудоемкость операций сборки и опрессовки пакета в кольцах, механизация и автоматизация которых затруднительны.

Для коллекторов диаметром до 40 мм удается избежать этих недостатков путем замены пакета из профильных пластин цельной заготовкой.

Весьма экономичными являются конструкции коллекторов на пластмассе, у которых заготовки пакета пластин представляют собой кольцо, а отдельные пластины образуются разделением цельной заготовки после опрессовки ее пластмассой (рис. 22—26). При такой конструкции нет необходимости в изготовлении отдельных пластин и сборке пакета. Это в свою очередь открывает возможность автоматизации почти всех операций изготовления коллекторов. Вместе с тем образование коллекторных пластин из заготовки, имеющей форму кольца, позволяет сократить расход меди на изготовление коллектора до минимума как за счет уменьшения припусков на обработку рабочей поверхности, так и за счет применения наиболее рациональной конструкции опорной части пластин. Это объясняется тем, что коллекторные пластины, образованные из кольцевой заготовки, удерживаются в пластмассе, как правило, с помощью продольного опорного выступа, обеспечивающего крепление пластины по всей длине, требующего сравнительно мало меди и изготавливаемого без отходов путем прессования, а не резания.

Заготовки в виде колец обычно используются для изготовления коллекторов, диаметр которых не превышает 40 мм. Однако при массовом производстве подобный способ образования пакета пластин может быть применен для изготовления коллекторов диаметром по крайней мере до 70 мм. Это, естественно, потребует наличия более мощного технологического оборудования.

В коллекторах с пластинами, образованными из кольца, заделка пластин в пластмассовом корпусе обеспечивается соответствующей конструкцией опорных частей. В этих коллекторах применяются конструкции пластин 16—6, 16—7, 16—8 и 16—9.

На рис. 22 показаны различные фазы процесса изготовления коллектора, имеющего конструкцию пластин 16—6 (с продольным ласточкиным хвостом); пакет коллектора изготовлен методом обратного холодного выдавливания. В рассматриваемом случае заготовкой слу-

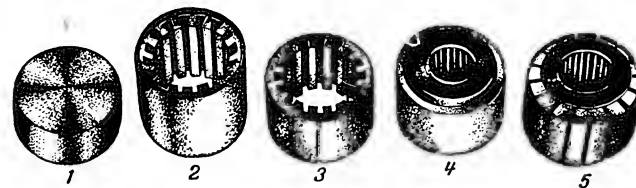


Рис. 22. Коллектор с пластинами, имеющими продольный ласточкин хвост.

1 — медный диск; 2 — заготовка после выдавливания продольного ласточкина хвоста; 3 — заготовка после подрезки дна; 4 — заготовка, опрессованная пластмассой; 5 — готовый коллектор.

жит диск, у которого после выдавливания отрезается дно. Затем производится опрессовка пластмассой кольцевого пакета пластин.

На рис. 23 изображены кольцевые заготовки коллекторов с пластинами типа 16—8 (с продольными наклонными выступами), причем показан пакет коллектора после того, как крепежные элементы были отогнуты от первоначального радиального положения. Половина каждой пластины наклонена влево, вторая половина — вправо; угол наклона равен 20° .

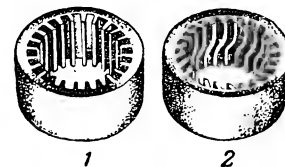


Рис. 23. Кольцевая заготовка пакета коллектора с продольными наклонными выступами.

1 — заготовка после выдавливания опорных выступов и подрезки дна; 2 — заготовка после отгибания продольных выступов.

Коллектор с пластинами конструкции 16—7 (с продольными Т-образными опорными выступами) и отдельные стадии его изготовления показаны на рис. 24. Томский филиал института ВНИИЭлектромеханики разработал метод образования зубьев кольцевых заготовок пакетов с последующим осаживанием опорной части для получения пластин с продольным Т-образным выступом.

Химико-технологическим институтом Академии наук Казахской ССР для микроколлекторов разработана тех-

нология получения металлокерамической заготовки с зубьями [Л. 43]. После опрессования и спекания производится калибровка заготовки пакета с развальцовкой концов зубьев по внутреннему диаметру, после чего крепежные выступы пластин получают Т-образную форму, аналогичную показанной на рис. 24.

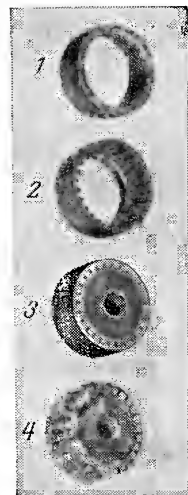


Рис. 24. Коллектор с пластинами, имеющими продольные Т-образные крепежные выступы.

1 — кольцевая заготовка; 2 — кольцевая заготовка после выдавливания крепежных выступов; 3 — заготовка, опрессованная пластмассой; 4 — готовый коллектор.

показаны на рис. 26. На окружности корпуса коллектора, отпрессованного из пластмассы, имеются пазы для будущих медных пластин, нижняя часть которых выполнена в форме ласточкиных хвостов, расположенных параллельно оси коллектора по всей длине корпуса. В корпусе между пазами имеются перегородки, которые в дальнейшем служат изоляционными прокладками между медными пластинами.

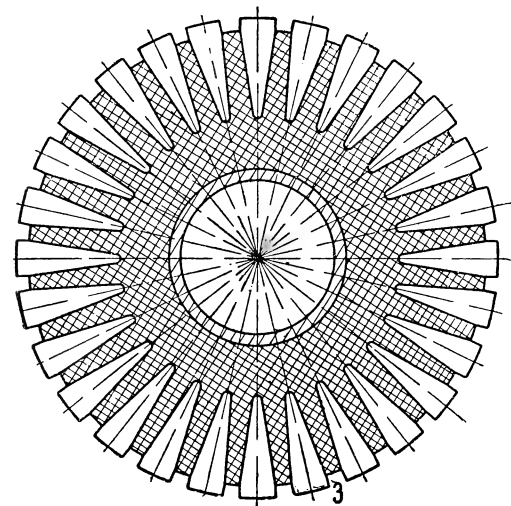
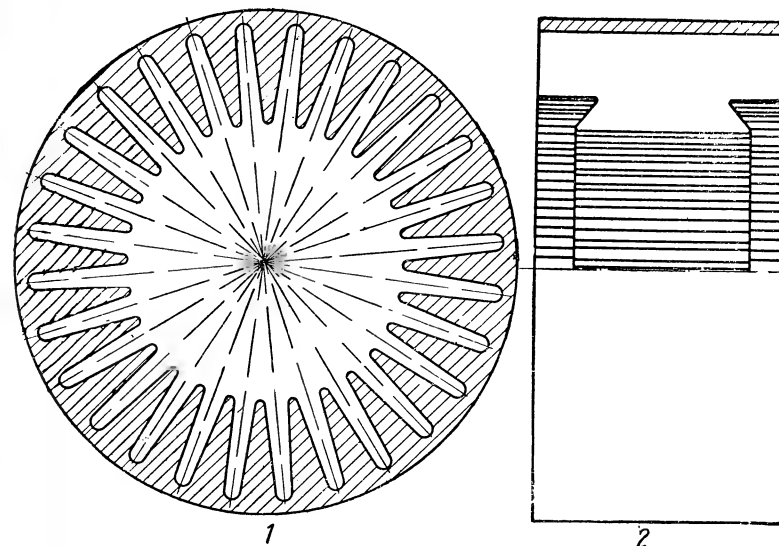


Рис. 25. Коллектор из металлокерамической заготовки с пластинами, имеющими клиновидные крепежные выступы.

1 — металлокерамическая заготовка; 2 — заготовка, в которой проточен ласточкин хвост; 3 — готовый коллектор.

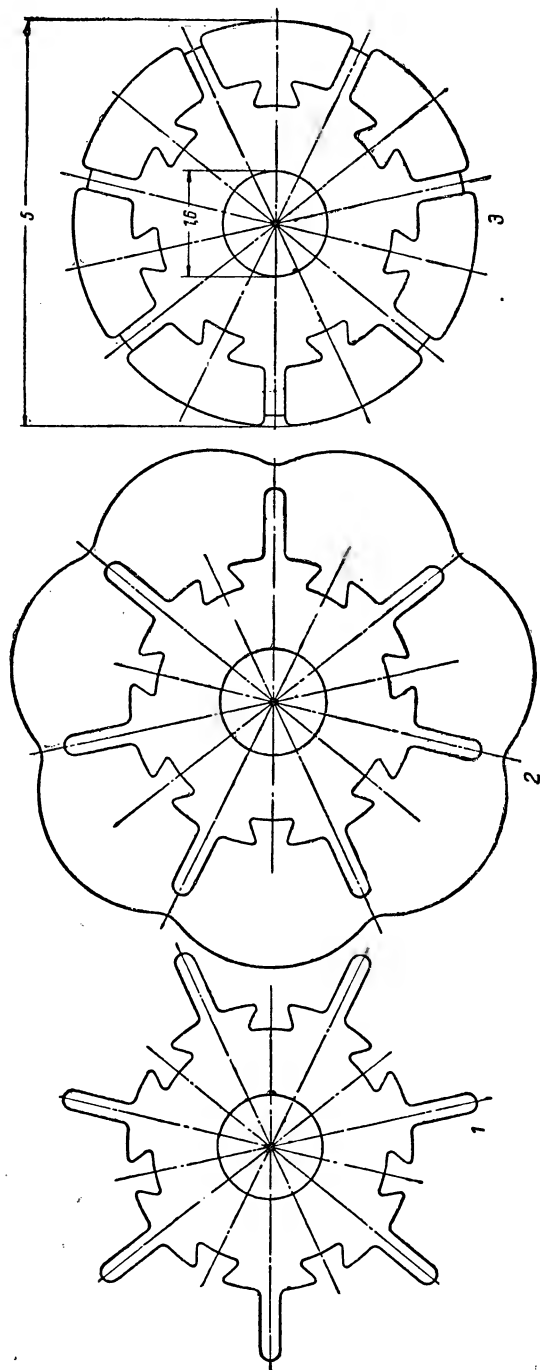


Рис. 26. Коллектор с пластинами, образованными гальваническим методом.
1 — пластмассовый корпус; 2 — пластмассовый корпус, на который осаждена электролитическая медь; 3 — готовый коллектор.

Необходимо иметь в виду, что надежное прикрепление к корпусу пластин из осажденной гальваническим способом меди может быть осуществлено только их заделкой с помощью ласточкина или Т-образного хвоста или другим аналогичным способом. Попытки удерживать пластины за счет сцепления меди с шероховатой поверхностью пластмассы корпуса не привели к положительным результатам.

Известным недостатком конструкции является длительность производственного цикла наращивания пластин. Несмотря на это, гальванический метод изготовления подобных коллекторов является приемлемым, тем более что при таких малых размерах коллекторов применение других известных способов их изготовления крайне затруднительно.

б) Коллекторы с пакетом пластин, изготовленным из полосы

В настоящее время известен ряд конструкций коллекторов, у которых пакет пластин получается путем свертывания в кольцо медных полос. Эти коллекторы, так же как и коллекторы с пакетом пластин, образованным из кольцевой заготовки, не требуют изготовления и сборки большого количества отдельных медных и изоляционных пластин. Они сворачиваются из медной полосы, на которой предварительно образованы опорные части пластин. При этом для создания опорных частей пластин может быть использована или толщина, или — для тонкой пластины — ширина полосы.

В случае использования внутренней поверхности полосы на ней образуются зубья, которые должны представлять собой в будущем коллекторные пластины. Наибольшее распространение получили три конструкции коллекторов с заготовкой из полосы, на внутренней поверхности которой образованы крепежные выступы.

На рис. 27 показана конструкция английской фирмы Гувер [Л. 52] для коллекторов на пластмассе диаметром от 16 до 35 мм. Заготовка представляет собой медную полосу, на которой делается ряд пазов, образующих опорные выступы пластин и разделяющих пластины друг от друга.

На рисунке показаны отдельные фазы процесса образования коллектора с заготовкой из медной полосы,

имеющей ширину, равную длине пластин коллектора, с припуском на обработку его по торцам. Верхняя тонкая часть зубцов отгибается влево и вправо, чтобы создать опорные выступы пластин, которыми они будут

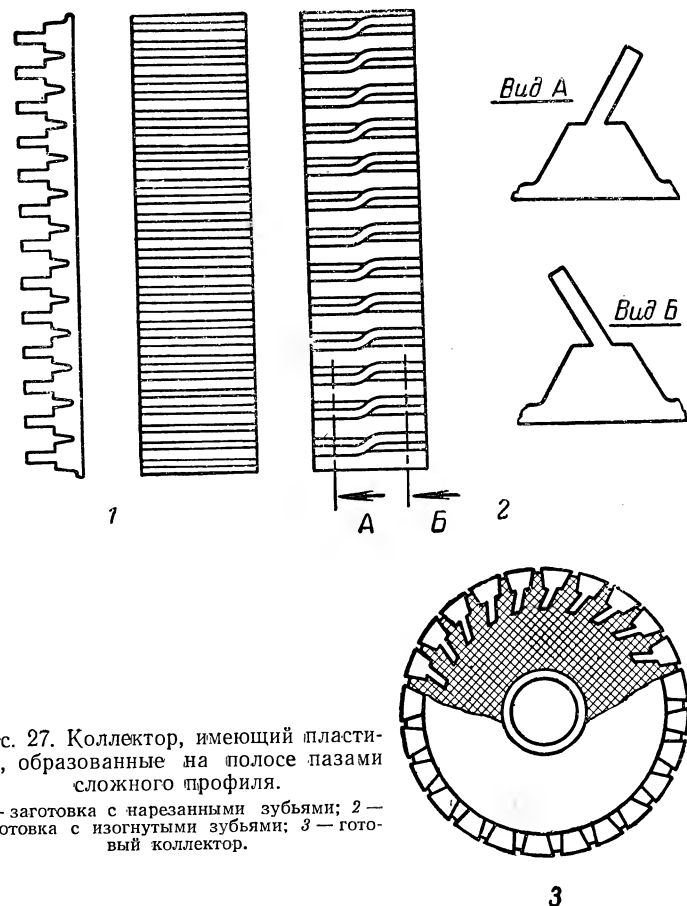


Рис. 27. Коллектор, имеющий пластины, образованные на полосе пазами сложного профиля.

1 — заготовка с нарезанными зубьями; 2 — заготовка с изогнутыми зубьями; 3 — готовый коллектор.

удерживаться в пластмассовом корпусе. Заготовка сворачивается в кольцо, после чего она вместе с центральной металлической втулкой опрессовывается пластмассой. Если применяется пластмасса с волокнистым наполнителем, то можно обойтись и без металлической втулки. Толщина металла, оставляемого между впадинами и на

ружной поверхностью заготовки, составляет лишь 0,8 мм, благодаря чему облегчается сворачивание заготовки в кольцо и сводится к минимуму количество металла, уходящего в стружку. Разделение пакета на отдельные пластины достигается после опрессовки его пластмассой путем протачивания коллектора по наружному диаметру.

Для коллекторов тех же диаметров, но с небольшим числом пластин та же фирма Гувэр [Л. 51] (рис. 28) применила полосы с прямоугольными пазами, образующими затем крепежные выступы пластин коллектора. Метод изготовления этих коллекторов сходен с описанным выше, за исключением того, что в заготовке не делается клиновидной части пазов и пластины отделяются друг от друга в запрессованном коллекторе не протачиванием, а прорезанием пазов фрезой или наружной протяжкой. Между пластинами при их разделении образуются воздушные зазоры по всей высоте рабочей части.

Шефер [Л. 55] предложил использовать в коллекторах на пластмассе пластины, имеющие опорные части в виде двух жестких рогаобразных выступов (рис. 29). Применение таких пластин возможно в микроколлекторах и малых коллекторах с небольшим числом достаточно широких пластин. Для изготовления заготовки пакета пластин в медной полосе клинообразным пуансоном выдавливаются пазы, разделяющие полосу на отдельные пластины. Пластины остаются разде-

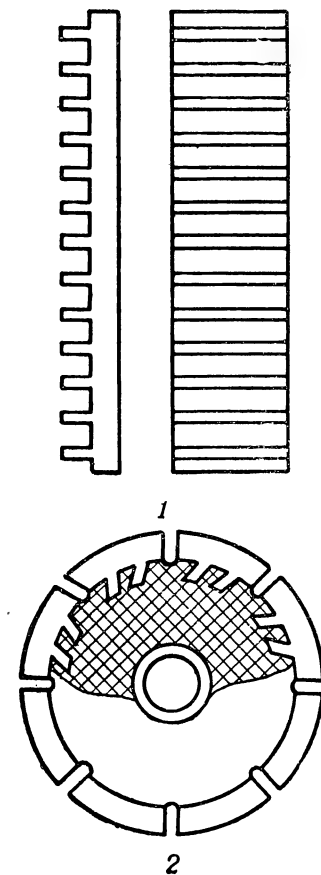


Рис. 28. Коллектор с пакетом пластин из полосы с прямоугольными пазами.

1 — заготовка после нарезания зубьев; 2 — готовый коллектор.

ленными тонкими перемычками, такими же, как и при изготовлении коллекторов, имеющих пластины с двойной прорезью. Угол наклона боковых стенок пластин выбирается таким образом, чтобы при дальнейшем свертывании заготовки в кольцо боковые стенки соседних пластин были параллельными. Поэтому величина этого угла зависит от числа пластин. Затем на внутренних сторонах пластин образуются жесткие рогообразные опорные вы-

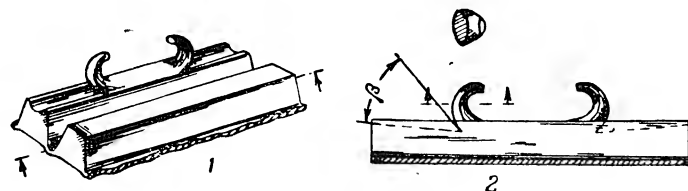


Рис. 29. Коллектор с пластинами, имеющими рогообразные крепежные выступы.
1 — часть полосы; 2 — вид сбоку коллекторной пластины из полосы.

ступы, которыми пластины удерживаются в пластмассовом корпусе (конструкция пластин 23—12). Выпуклый резец с дугообразным острым концом, который перемещается вдоль внутренней поверхности пластины от ее конца к середине и таким образом создает рогообразные выступы, движется наклонно под углом α к поверхности пластины. В связи с этим к основанию поперечное сечение выступов увеличивается.

Благодаря достаточной жесткости подобных крепежных выступов можно не опасаться того, что они будут деформированы при прессовании пластмассы.

Коллекторы по рис. 30 имеют заготовку пакета коллекторных пластин, штампованную из листовой меди толщиной 1,5—2,5 мм. Заготовка формируется таким образом, чтобы у пластин получился выступ для впаивания концов секций. Опорные концы пластин, запрессовываемые в пластмассу, для коллекторов диаметром до 40 мм делаются по форме, показанной на рис. 30,2 (конструкция пластины 21—12 с прямыми концами), при диаметрах 40—50 мм — по форме на рис. 30,3 (конструкция 22—12 с изогнутыми концами). После выгибания заготовка сворачивается в кольцо и опрессовывается пластмассой. Затем цилиндрическая часть заготовки пакета

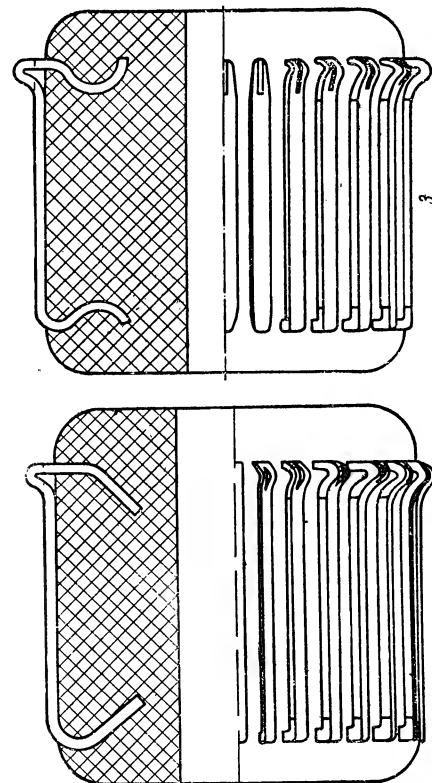
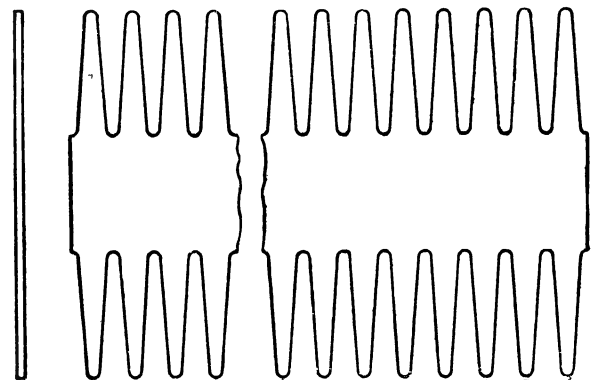


Рис. 30. Коллектор с заготовкой пластин из листовой меди.
1 — развертка (заготовка) пакета пластин; 2 — коллектор с пластинами конструкции 21—12 с прямыми концами; 3 — коллектор с пластинами конструкции 22—12 с изогнутыми концами.



разрезается фрезой на отдельные пластины и коллектор протачивается поверху. Пластмассы рекомендуется применять только с порошковым наполнителем, так как прессовочные материалы с длинноволокнистым наполнителем могут деформировать отогнутые концы пластин. В связи с этим подобные коллекторы следует изготавливать с центральной металлической втулкой.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ

6. КОЛЛЕКТОРНЫЕ ПЛАСТИНЫ

а) Элементы пластины

Конструкции коллекторных пластин были достаточно подробно рассмотрены при описании конструкций коллекторов, а в табл. 2а и 2б показаны применяемые в настоящее время профили их поперечного сечения и типы крепежных выступов.

Коллекторная пластина (рис. 31) состоит из двух основных частей: рабочей части пластины, высота которой обозначена h_p , и заделанной в пластмассу опорной (хвостовой) части пластины h_x . В свою очередь рабочая часть пластины состоит из технологического припуска h_t , эксплуатационной высоты пластины h_u , определяемой запасом на износ с учетом проточек рабочей поверхности, и остаточной части h_o , необходимой для обеспечения нужной прочности максимально сработанной и сточенной коллекторной пластины.

Высота заделываемой в пластмассу части пластины находится при расчете пластмассового корпуса в зависимости от принятого варианта конструктивного исполнения опорной части пластины.

Определение высоты рабочей части пластины значительно сложнее. Высота эксплуатационной части пластины прежде всего определяется запасом на износ. Однако в настоящее время отсутствуют достаточно точные данные об износе коллекторных пластин в зависимости от различных конструктивных и эксплуатационных факторов, основанные на лабораторных исследованиях и проверенные в эксплуатации.

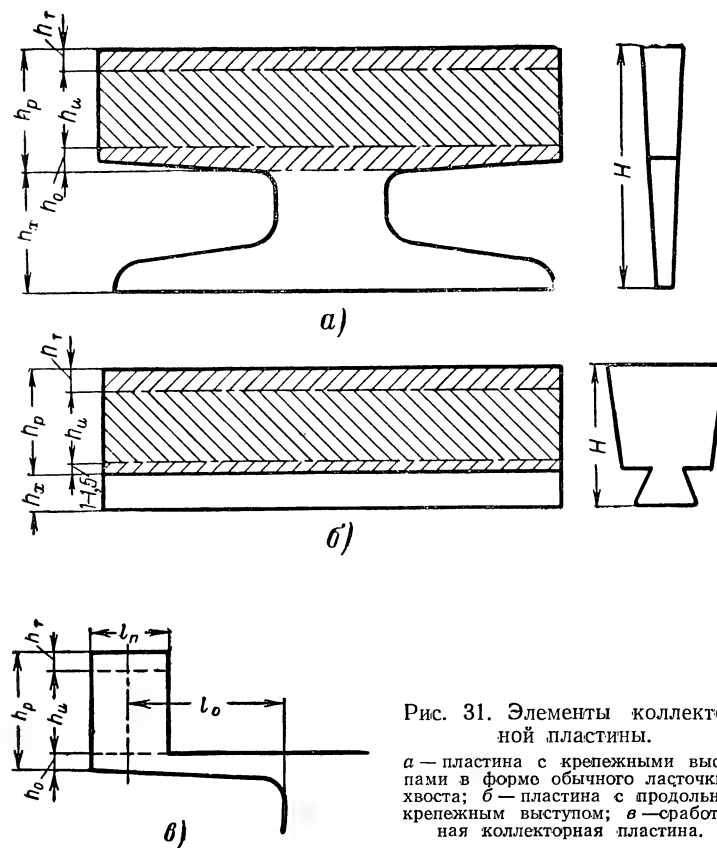


Рис. 31. Элементы коллекторной пластины.

а — пластина с крепежными выступами в форме обычного ласточкина хвоста; б — пластина с продольным крепежным выступом; в — сработанная коллекторная пластина.

б) Высота пластины для коллекторов с металлическим корпусом

Для определения рабочей высоты пластины и запаса на износ обычных коллекторов с миканитовой изоляцией и металлическим корпусом применяются различные эмпирические формулы. В некоторых из них высота пластины дается в зависимости от рабочего диаметра коллектора. В [Л. 1] предлагается вести расчет общей высоты пластины по формулам:

$$H = 2,8\sqrt[4]{D_k} - 1 \text{ см} \quad (2)$$

для специальных машин, часто требующих проточки коллектора, и

$$H = 2,2 \sqrt[4]{D_k} - 1 \text{ см} \quad (3)$$

для машин общего назначения.

Запас на износ определяется из выражения

$$h_{\text{из}} = 0,5 \sqrt[4]{D_k} \quad (4)$$

В формулах (2), (3) и (4) D_k — диаметр рабочей поверхности коллектора, см.

В [Л. 21] считают высоту коллекторной пластины $H = 0,12 D_k$ и высоту рабочей части пластины $h_p = 0,6 H$.

На основании анализа существующих конструкций машин в [Л. 11] рекомендуются следующие запасы на износ медной пластины в зависимости от диаметра коллектора (табл. 10). Для сравнения в ту же таблицу включены результаты подсчетов по формуле (4).

Таблица 10
Высота изнашиваемой части медной пластины в зависимости от диаметра коллектора

$D_k, \text{ мм}$	$h_{\text{из}}, \text{ мм}$	Расчетная $h_{\text{из}}, \text{ мм}$ [из формулы (4)]
До 100	6	9
101—250	8	9—11
251—600	10	11—14
601—1 000	12	14—16
Свыше 1 000	15	16

Для коллекторных машин небольшой мощности [Л. 18] рекомендуется высоту рабочей части медной пластины подсчитывать по формуле

$$h_p = (0,1 - 0,2) D_k \quad (5)$$

Имеются рекомендации по выбору высоты рабочей части пластины в зависимости от максимальной окружной рабочей скорости коллектора. Так, в [Л. 2] указано, что для обеспечения 8-летнего срока работы коллектора тяговых электродвигателей необходимо, чтобы запас на

Таблица 11
Величины рабочей и изнашиваемой частей медной пластины в зависимости от окружной скорости [Л. 2]

Окружная скорость, $v, \text{ м/сек}$	$h_p, \text{ мм}$	$h_{\text{из}}, \text{ мм}$
10	22	12
15	23	12,5
20	26	14
25	28	16

износ и рабочая высота пластины были не менее указанных в табл. 11.

По рассматриваемому вопросу имеется ряд заводских рекомендаций. Например, по данным завода «Динамо» имени Кирова износ медных пластин тягового электродвигателя электропоездов после пробега 180 000 км должен быть не более 0,5—0,6 мм (по диаметру¹). На Прокопьевском заводе «Электромашин» для машин постоянного тока нормального исполнения принято считать нормальным износ коллектора 0,2 мм по диаметру в течение года эксплуатации при окружной скорости коллектора до 10 м/сек. Московский электрозавод для коллекторов автомобильных генераторов принимает рабочую часть медной пластины h_p около 5 мм, гарантируя по техническим условиям 25 000 ч. работы при фактическом сроке службы в эксплуатации 80 000—100 000 ч. Один из заводов гарантирует износ не более 0,1 мм по диаметру (0,05 мм на пластину) для коллекторов диаметром от 30 до 80 мм при рабочей скорости вращения до 30 м/сек за 100 ч работы при фактическом износе за 150 ч 0,04—0,06 мм по диаметру.

Для электрических машин с весьма ограниченным сроком службы, например отдельных авиационных, за-

¹ Австрийская фирма Элин-Унион для тяговых двигателей дает гарантию работы коллектора до первой проточки при пробеге 1 млн. км. Фактический износ коллектора после указанного пробега составляет 0,2—0,3 мм. Коллекторные пластины фирма изготавливает из кадмиевой меди или бронзы с присадкой серебра.

пас на износ не предусматривается. Высота рабочей части пластины после механической обработки в готовом коллекторе рассчитывается исключительно по соображениям прочности. В [Л. 6] рекомендуется находить высоту рабочей части пластины, исходя из допустимого прогиба консольной части пластины под действием центробежных сил:

$$h_p = 0,54 l^2 \frac{n_{\max}}{10^5} \sqrt{D_k} \text{ см.} \quad (6)$$

Максимальный прогиб принят равным 0,002 см.

$n_{\max}$ — максимальная скорость вращения якоря, об/мин.

в) Рабочая высота пластины для коллекторов на пластмассе

Коллекторы на пластмассе позволяют по-новому поставить вопрос о выборе высоты рабочей части пластины, прежде всего за счет запаса на износ. Как уже было показано, у коллекторов на пластмассе в процессе эксплуатации не наблюдается неустойчивости геометрической формы рабочей поверхности коллектора. При выпуске с завода электрической машины с коллектором на пластмассе с практически безыскровой коммутацией степень искрения в процессе эксплуатации из-за радиального перемещения пластин не повышается, а также не наблюдается обгорания пластин и усиленного износа щеток, как это зачастую имеет место у коллекторов с металлическими корпусами и миканитовой изоляцией. В связи с этим коллекторы на пластмассе не требуют частых проточек рабочей поверхности для удаления подгара пластин. Нет необходимости и в проточках рабочей поверхности коллектора после частых подтяжек ослабевающих резьбовых соединений, отсутствующих в коллекторах на пластмассе. Поэтому величина h_n , предусматривающая запас по износу, для коллекторов на пластмассовых корпусах может быть значительно уменьшена сравнительно со значениями, принятыми для обычных коллекторов с металлическими корпусами.

Для коллекторов на пластмассе с пластинами из меди марки М-1, работающих в машинах со степенью искрения не свыше 1 1/4 балла, периоды работы между

проточками рабочей поверхности следует принимать не менее 1 500—2 000 ч. Анализ работы коллекторов на пластмассе позволяет рекомендовать следующую формулу для расчета эксплуатационной высоты рабочей части медной пластины:

$$h_n = 0,16 D_k^{0,33} v^{0,25} t^{0,167} \text{ мм;} \quad (7a)$$

так как

$$v^{0,25} = \left(\frac{\pi D_k}{60} \frac{n}{1000} \right)^{0,25},$$

то

$$h_n = 0,0136 \cdot 10^{-2} D_k^{0,58} n^{0,25} t^{0,167} \text{ мм.} \quad (7б)$$

В формулах (7a) и (7б):

D_k — диаметр коллектора, мм;

v — окружная скорость коллектора, м/сек;

t — температура на поверхности работающего коллектора, °С;

n — скорость вращения якоря, об/мин.

Для удобства расчетов по формуле (7б) построена номограмма (рис. 32), на основании которой выбирается эксплуатационная высота коллекторной пластины.

Для пластин коллекторов тяговых электродвигателей и электрических машин, работающих в аналогичных тяжелых условиях, значения h_n , полученные по формуле (7б) или взятые по номограмме, следует умножить на коэффициент 1,35. Соответственно для коллекторов с пластинами из кадмиевой меди следует применять коэффициент 0,85, а из хромистой бронзы — 0,75.

В формуле (7б) и при выборе коэффициентов учтены сроки службы электрических машин, перечисленные ниже.

Для крупных индивидуальных машин мощностью свыше 1 000 кВт	25—30 лет
Для машин мощностью 100—1 000 кВт	20 "
Для остальных машин	10—15 "

Принято во внимание, что в среднем на протяжении года электрическая машина на промышленном предприятии работает около 1 400 ч, в сельском хозяйстве — 1 000 ч, на транспорте — 800 ч, в том числе на железно-

дорожном транспорте — 1 200—1 500 ч, в коммунальном хозяйстве — 1 500 ч.

Технологический припуск на обработку рабочей поверхности коллектора h_T обусловлен прежде всего минусовыми отклонениями толщины пластин и изоляционных

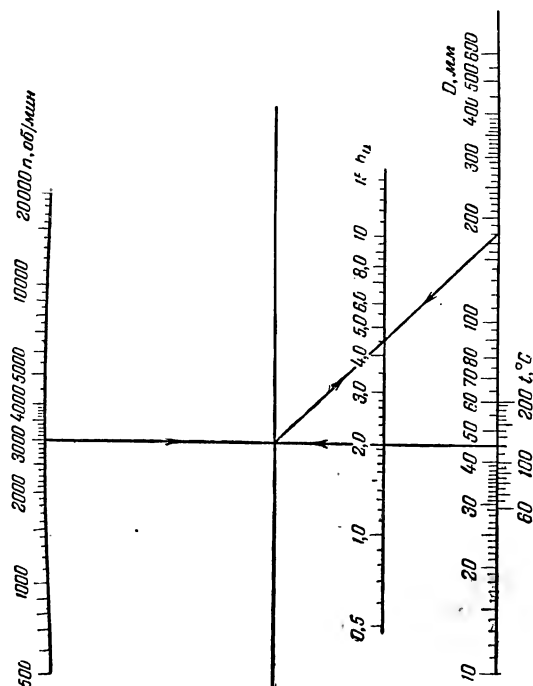


Рис. 32. Номограмма для определения запаса на износ пластин коллекторов на пластмассе. Пример. Коллектор для электрических машин общего назначения: $D=180$ мм; $n=3\,000$ об/мин; $t=95^\circ\text{C}$ (превышение температуры коллектора над температурой окружающей среды) $+25^\circ\text{C}$ (температура окружающей среды) $=120^\circ\text{C}$. По номограмме $h'_T=4,6$ мм.

прокладок, вызывающими соответственные изменения наружного диаметра коллектора. Кроме того, при изготовлении коллекторов с металлическими корпусами приходится давать дополнительный припуск на несовпадение осей наружной и опорных поверхностей коллектора,

неизбежное при существующей технологии образования опорных поверхностей¹.

Рекомендуемые величины технологического припуска в зависимости от диаметра рабочей поверхности коллектора с металлическим корпусом приведены в табл. 12.

Таблица 12

Величина припусков на обработку коллекторов с металлическим корпусом в зависимости от диаметра

Диаметр рабочей поверхности коллектора, мм	Припуск на обработку, мм	
	по наружному диаметру	в том числе для обточки коллектора на якоре
До 40	2—3	До 1
40—80	3—4	" 1
80—150	4—5	" 1
150—250	5—6	" 2

Для коллекторов, при изготовлении которых необходимо применять динамическое формование, припуск по диаметру увеличивается еще на 1,5—2,5 мм.

Для коллекторов с пластмассовым корпусом необходимость в припуске, обусловленном неточностью изготовления опорных поверхностей, отпадает в связи с тем, что положения центральной коллекторной втулки и пакета коллекторных пластин друг относительно друга при опрессовке пластмассой фиксируются пресс-формой.

Технологический припуск h_T по высоте медной пластины для коллектора на пластмассе определяется по формуле

$$h_T = 0,1 \sqrt{D_K} \text{ мм}, \quad (8)$$

где D_K — диаметр рабочей поверхности коллектора, мм.

Пластины коллекторов с металлическими корпусами должны иметь по хвостовой части технологические припуски для обработки собранного пакета пластин по вну-

¹ У коллектора с металлическим корпусом протачивание ласточкина хвоста пакета коллекторных пластин в сборочном кольце приходится выполнять за две установки на токарном станке. При этом появляется несовпадение осей наружной поверхности коллектора с осями поверхностей ласточкина хвоста.

треннему диаметру. Этот припуск в зависимости от диаметра коллектора составляет от 1 до 4 мм на пластину. Так, для коллектора диаметром 100 мм этот припуск берется равным 1—1,5 мм. Для коллекторов с пластмассовыми корпусами в этом припуске нет необходимости, так как пакет пластин опрессовывается пластмассой и не требует обработки крепежных выступов.

Технологический припуск по длине пластин (на обработку торцов) также может быть уменьшен. Для коллекторов с пластмассовыми корпусами, у которых пластины в собранном пакете не подрезаются с торцов, а лишь протачиваются с одной стороны на готовом якоре (торец, противоположный петушкам), технологические припуски по длине пластины на обработку торцов l_T следующие:

D_K , мм	До 250	250—500	Свыше 500
l_T , мм	1	2	3

Таким образом, еще одним резервом экономии меди при переходе на любую из конструкций коллекторов на пластмассе является также возможность уменьшения припусков на механическую обработку¹.

Остаточная высота рабочей части пластины зависит от способа крепления пластины в пластмассовом корпусе. У пластин с крепежными выступами типов 1, 2, 17, 18 эта высота определяется необходимой прочностью при изгибе под действием центробежных сил, развиваемых остаточным выступом коллекторной пластины². Высота этого остаточного выступа принимается равной $h_n + h_T$, ширина l_n (рис. 31, в); в случае, когда пластина имеет цельные петушки, необходимо учитывать их высоту.

¹ Некоторые электромашиностроительные заводы при изменении конструкции коллекторов в связи с переходом на пластмассовый корпус не изменяют технологических припусков по верхней части коллекторных пластин, так как это изменение влечет за собой уменьшение диаметра комплекта пластин и требует изготовления новых вкладышей для сборочных колец. Как показывает практика, затраты на изготовление новых вкладышей окупаются за счет экономии меди за 2—3 мес. Поэтому при переходе на пластмассовый корпус необходимо заказывать новый, уменьшенный профиль коллекторной меди и переделывать оснастку для сборки пакетов пластин.

² Консольная часть пластины, боковая поверхность которой определяется величиной h_o , также развивает центробежные силы, однако ввиду их незначительности они не учтены в расчете.

Остаточная высота рабочей части пластин для указанных выше типов находится по формулам:

$$h_o = 0,15 \cdot 10^{-4} n_{\max} \sqrt{F_{\Pi} R_K l_o} \text{ см} \quad (9a)$$

для коллекторных пластин из меди $M=1$ и

$$h_o = 0,13 \cdot 10^{-4} n_{\max} \sqrt{F_{\Pi} R_K l_o} \text{ см} \quad (9б)$$

для коллекторных пластин из кадмиевой меди.

В формулах (9a) и (9б)

$F_{\Pi} = (h_n + h_T) l_n$ — площадь боковой поверхности остаточного выступа, см;

l_o — вылет консоли (рис. 31, в);

$n_{\max}$ — максимальная скорость вращения, об/мин.

Для пластин с крепежными выступами 3, 4, 9, 10, 13, 14 величина h_o определяется из условий максимально допустимого прогиба:

$$h_o = 0,17 \cdot 10^{-5} n_{\max} L \sqrt{RL} \text{ см}, \quad (10)$$

где L — величина пролета между опорами хвостовой части, см;

R — радиус инерции пластины, см.

Формула (10) выведена исходя из предположения, что допустимый прогиб в середине пролета пластины изношенного коллектора равен 0,001 длины пролета.

Для пластин, имеющих крепежные выступы типов 5, 6, 7, 8, 12, h_o должно рассчитываться по формуле (9a) или (9б) и проверяться по формуле (10).

У пластин с выступами типов 16 и 19, заделываемых в пластмассу по всей длине, по условиям прочности нет необходимости в запасе высоты пластины; в этом случае остаточная величина рабочей части составляет 1—1,5 мм.

Величину h_o для всех типов пластин, вычисленную по формулам (9a), (9б) и (10), необходимо проверить по плотности тока. Остаточное сечение пластины не должно быть менее сечения секции обмотки якоря.

г) Коллекторные пластины с цельными петушками

В ряде конструкций коллекторов на пластмассе применяются пластины, у которых петушки не изготовлены из тонкой ленточной меди и впаяны затем в пласти-

ны коллектора, а выштампованы как одно целое с пластиной. В связи с этим высота заготовки коллекторной пластины увеличивается на высоту петушка, а так как коллекторная пластина имеет трапецидальное сечение, расширяющееся к верхней части пластины, то это увеличение высоты ведет к весьма значительному повышению веса заготовки.

Так, например, в электродвигателе типа ДК-908 применяется заготовка коллекторной пластины с цельным петушком. Вес коллекторной меди для получения этой заготовки составляет 0,162 кг. Расход меди на пластину нормального профиля всего 0,078 кг, т. е. в 2,1 раза меньше.

Поэтому цельные петушки рекомендуется применять лишь в электрических машинах высокого напряжения с большим числом коллекторных пластин, приходящихся на один паз, у которых толщина верхнего основания коллекторной пластины менее 1,2 мм, а толщина стенки коллекторной пластины в нижней части прорези для концов якорной секции составляет менее 0,4 мм, что не позволяет достаточно качественно заделать петушок. Цельные петушки приходится также применять в тяговых электродвигателях, работающих при напряжении свыше 1000 в*.

Надо также учитывать, что массивный цельный петушок значительно увеличивает центробежную силу, развиваемую пластиной коллектора. В связи с этим коллекторы на пластмассе, имеющие пластины с цельными петушками, могут работать при меньших окружных скоростях, чем коллекторы с обычными пластинами, при одинаковых рабочих диаметрах.

Для сравнения были проведены испытания на прочность партии коллекторов типа ДК-907 на массе К-6 с цельными петушками и без петушков; пластины были заделаны в корпус посредством обычного ласточкина хвоста без армировочных колец. Длина пластины была равна 45 мм, диаметр рабочей поверхности коллектора 76 мм, по цельным петушкам — 116 мм; 10 коллекторов с петушками вышли из строя при скорости вращения

* Австрийские фирмы Сименс-Шуккерт и Эллин-Унион в тяговых двигателях для электровозов, тепловозов и моторных вагонов применяют только впаянные петушки.

в среднем 11 200 об/мин, а 5 коллекторов без петушков — при скорости 14 900 об/мин (максимальное отклонение от средней величины скорости, при которой происходило разрушение коллектора, оказалось не более 2%).

д) Материал коллекторных пластин

Основным требованием, предъявляемым к материалу коллекторных пластин, является надежная работа скользящего контакта в сочетании с минимальным износом пластин и удовлетворительным переходным сопротивлением. В настоящее время материалами, в наибольшей мере удовлетворяющими указанным требованиям, являются медь и некоторые ее сплавы. Работы по замене меди менее дефицитными материалами ведутся в направлении создания биметаллических пластин с токопроводящей частью из меди, а также по применению композиции сталь + медь.

Для коллекторов на пластмассе, у которых пакет пластин изготавливается из цельной заготовки, материалом пластин могут служить прутки, листы, трубы, полосы из меди марки М-1, прессованный медный электролитический порошок.

Коллекторы на пластмассе, у которых пакет собирается из отдельных пластин, изготавливаются с пластинами из полосовой меди трапецидального поперечного сечения, а также с пластинами, отпрессованными из медного электролитического порошка.

Полосы профилированной коллекторной меди изготавливаются на кабельных заводах протягиванием до нужных размеров на волочильных станах. Коллекторные пластины с продольными опорными выступами (профили 6 и 7), так же как и пластины профилей 3, 4 и 5, в настоящее время еще не освоены кабельными заводами, и поэтому на электромашиностроительных заводах их изготавливают обычно из пластин трапецидального сечения путем фрезерования.

Весьма перспективным является применение коллекторных пластин, изготовленных методами порошковой металлургии (металлокерамики). В сочетании с корпусами на пластмассе это дает возможность сократить на 40—50% расход меди по сравнению с расходом ее на коллекторы с обычными металлическими корпусами и пластинами, изготовленными из полосовой меди. При

этом конфигурация и размеры коллекторных пластин не изменяются [Л. 4].

Порошковая металлургия открывает возможность получения заготовок пластин окончательной формы без обработки резанием, т. е. без технологических потерь металла. Более того, применение металлокерамики позволяет использовать в коллекторах на пластмассе без дополнительной обработки наиболее экономичные по расходу меди типы пластин. Этот метод позволяет также изготавливать коллекторные пластины из композиции железо — медь, получение которых методами обычной металлургии невозможно. Сравнительно просто также изготовление биметаллических пластин с рабочей частью из меди, а хвостовой — из железа. В условиях массового производства с применением автоматизированных прессов и печей, а также при налаженном производстве дешевого медного порошка такие пластины будут не только наиболее экономичными по расходу меди, но и самыми дешевыми и наименее трудоемкими.

Сравнительные стендовые испытания на износ коллекторных пластин из металлокерамической меди и композиции медь + железо (50% + 50%) в стартерах типа СТ-15 показали, что после 50 000 циклов износ коллекторов с пластинами из металлокерамической меди составил 0,1 мм, а с пластинами из обычной коллекторной меди марки М-1 0,5 мм. В то же время износ щеток в стартерах с коллекторными пластинами из композиции медь + железо оказался почти в 2 раза выше, чем при пластинах из металлокерамической меди.

Для обоснованного решения вопроса о целесообразности применения пластин из композиций медь + железо необходимо дополнительно провести всесторонние испытания, в частности в эксплуатационных условиях, обратив особое внимание на подбор соответствующих марок щеток.

Испытания биметаллических коллекторных пластин с рабочей частью из медного и хвостовой из стального порошка в коллекторах возбуждителей В-4 показали вполне удовлетворительные результаты. Коллектор после 10 000 ч работы остался работоспособным; износ его составил 0,26 мм по диаметру.

В табл. 13 приведены сравнительные технико-экономические показатели изготовления коллекторных пластин из обычной коллекторной меди, металлокерамиче-

ских из медного порошка и биметаллических (хвостовая часть пластины — из стального, рабочая — из медного порошка).

Таблица 13

Технико-экономические показатели на 1 000 коллекторных пластин из различных материалов

Материал пластин	Чистый вес пластин, кг	Расход меди, кг	Трудоемкость, чел-ч	Себестоимость, руб.
Коллекторная медь М1 по ГОСТ 3568-47	5	14	1,2*	11,3
Металлокерамика ПМ-1 из медного порошка	5	5,5	1,1	8,0
Металлокерамика биметаллическая, медь + железо	5	2,5	1,2	5,1

* Принята трудоемкость изготовления пластины для коллектора на пластмассовом корпусе, т. е. штамповка пластины окончательной формы из полосы без последующей обработки на токарном станке ласточкина хвоста, торцов и внутреннего диаметра собранного пакета.

Порошковая металлургия открывает возможности применения металлокерамических пластин из кадмиевой меди и других износостойких и термостойких композиций.

Известны попытки изготовления коллекторов с малоуглеродистыми стальными пластинами [Л. 16]. Такой коллектор был изготовлен для кранового двигателя (14 л. с., 500 в, 620 об/мин). При испытании были установлены хорошая устойчивость пластин из малоуглеродистой стали против срабатывания, но быстрый износ щеток: на так называемом «продороженном» коллекторе щетки пришлось менять через каждые 6—7 часов, а на «непродороженном» коллекторе износ щеток оказался в 4—5 раз выше, чем на коллекторе с медными пластинами. Однако более широкой программы испытаний не проводилось.

Непременным условием замены меди в рабочей части пластины каким-либо другим материалом является проведение тщательных исследований. В [Л. 29] в качестве основного требования к материалу рабочей части пластины предъявляется возможно более высокое значение напряжения, поддерживающего электрическую дугу. Поэтому для коллекторных пластин из стали пришлось бы

Толщина изоляционных прокладок

Диаметр коллектора, мм	Толщина изоляционных прокладок, мм		
	Обычные коллекторы	Коллекторы машин высокого напряжения	Коллекторы машин с улучшенной коммутацией
До 20 (микроколлекторы)	0,4	—	—
Свыше 20 до 90 (малые)	0,5—0,6	0,7—0,8	0,4
„ 90 „ 250 (средние)	0,7—0,8	0,8—0,9	0,5
„ 250 „ 400 (крупные)	0,8—0,9	1,0	0,6
400 и выше (особо крупные)	0,9—1,0	1,1—1,2	0,7

или очень сильно снизить среднее напряжение между коллекторными пластинами (что потребовало бы весьма значительного числа их, т. е. привело бы к слабому использованию всех активных материалов машины), или непомерно увеличить изоляционное расстояние между коллекторными пластинами, что также повлекло бы за собой невыгодное использование активных материалов. Отсюда экономия от замены меди сталью в коллекторе оказывается меньше добавочных затрат меди на обмотки якоря и магнитов.

Возможно применение в качестве материала коллекторных пластин алюминия или его сплавов. Низкий удельный вес алюминия позволяет более чем в 3 раза снизить нагрузку на крепежные выступы пластин от центробежных сил при вращении коллектора. Однако алюминиевые пластины быстро изнашиваются; кроме того, к ним трудно присоединить медные петушки.

7. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПРОКЛАДКИ

а) Конструкция изоляционных прокладок

Толщина изоляционных прокладок для различных коллекторов колеблется в пределах от 0,4 до 1,2 мм. Толщина прокладок выбирается при проектировании коллектора в зависимости от диаметра, напряжения на коллекторе, условий коммутации. При этом для коллекторов электрических машин высокого напряжения необходимо увеличивать толщину изоляционных прокладок; для улучшения коммутации требуется меньшая их толщина. Толщины изоляционных прокладок следует принимать по табл. 14.

У коллекторов с металлическими корпусами конфигурация и размеры изоляционных прокладок по контуру полностью совпадают с конфигурацией и размерами медных пластин, так как пакет такого коллектора в собранном виде подвергается механической обработке для получения точных размеров посадочных поверхностей. Таким образом, медные пластины отделены друг от друга по внутренней поверхности собранного пакета только толщиной изоляционной прокладки. Это обстоятельство бывает частой причиной брака коллекторов. Недостаточно тщательная зачистка хотя бы одной из многочисленных пластин после протачивания опорной поверхности

или попадание на нее при сборке коллектора металлической пыли вызывает замыкания соседних пластин между собой.

В коллекторах с пластмассовыми корпусами этот недостаток устраняется. Изоляционные прокладки изготавливаются так, что их края выступают над медными на 1,5—2 мм по всему контуру пластин, кроме верхней части и торца, противоположного петушку (рис. 33). Это становится возможным потому, что в коллекторах на пластмассе опорные части пластин опрессовываются пластмассой без какой-либо обработки в сборочных кольцах, а пластмасса сравнительно легко образует корпус коллектора, обтекая и охватывая выступающие из наката пластин края изоляционных прокладок.

Иногда при изготовлении коллекторного корпуса из волокнистых пластмасс, требующих довольно высоких удельных давлений при прессовании, выступающие края изоляционных прокладок отгибаются, но это не ухудшает изоляции между коллекторными пластинами, так как расстояние по изоляции между ними остается прежним.

Для коллекторов диаметром до 120—150 мм со стальными армирующими кольцами изоляционные прокладки используются для фиксирования этих колец в нужном положении при прессовании пластмассового корпуса. Так как изоляционные прокладки несимметричны, то на

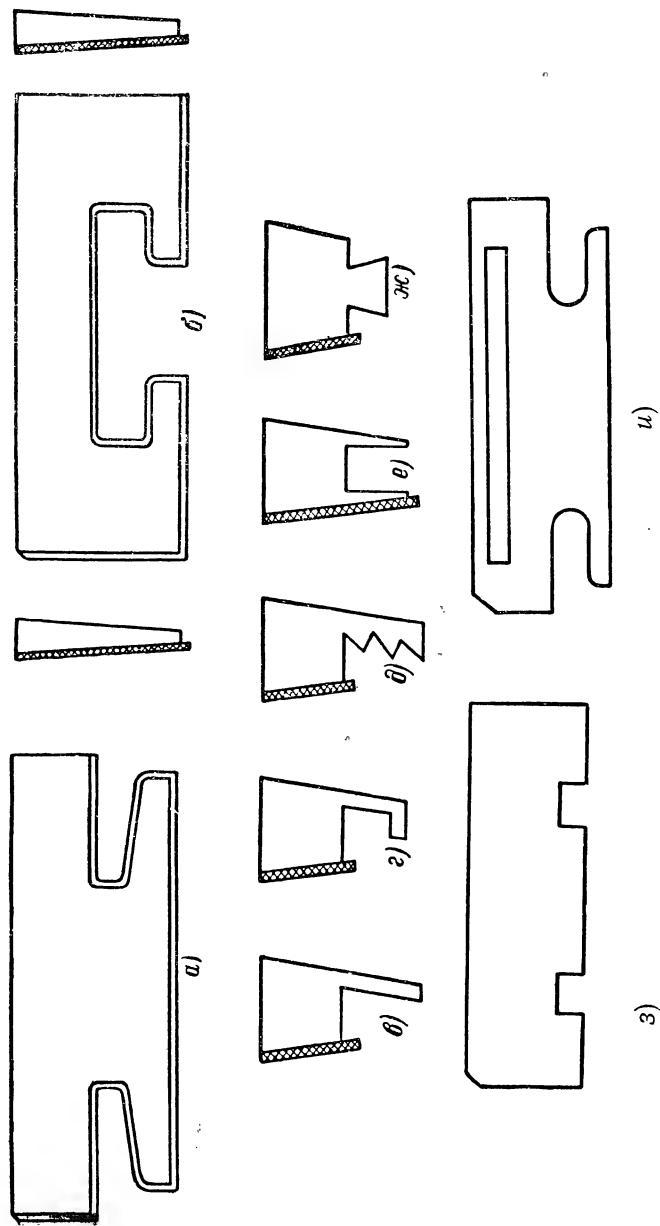


Рис. 33. Изоляционные прокладки.

а — изоляционная прокладка с коллекторной пластиной конструкции 2—1 и армированными кольцами; б — изоляционная прокладка с коллекторной пластиной конструкции 4—1; в, г, д, е и ж — изоляционные прокладки с коллекторными пластинами профилей поперечного сечения 3, 4, 5, 6, 10; и — изоляционная прокладка с пазами для фиксации армированных колец, применяющаяся для коллекторов с пластинами, имеющими профили поперечного сечения 3, 4, 5; к — изоляционная прокладка с пазом.

них обычно предусматривается технологическая фаска на одном из углов, по которой можно правильно их ориентировать при сборке пакетов.

Наиболее экономичными с точки зрения расхода материала прокладок являются коллекторы, имеющие профили пластин 3, 4, 5, 6 и 7. У этих конструкций изоляционные прокладки перекрывают только боковую поверхность рабочей части пластины, а хвостовая часть пластин изолируется пластмассой корпуса.

На рис. 33,к показана конструкция прокладок, позволяющая обойтись без продороживания коллектора. Одновременно со штамповкой наружного контура в изоляционной прокладке просекается продольный прямоугольный паз, длина которого равна длине рабочей части коллектора. Верхняя граница паза размещена таким образом, чтобы она при окончательной проточке рабочего диаметра коллектора совпала с верхней кромкой пластин. Таким образом, в готовом коллекторе изоляция между пластинами оказывается углубленной [Л. 50].

б) Материал изоляционных прокладок

Материалами для изоляционных прокладок могут служить изготавливаемые на основе слюды коллекторный миканит, коллекторный слюдинит и коллекторный слюдопласт, а иногда и чистая обрезная калиброванная слюда. Ведутся опыты по применению электролита. Сортамент этих материалов приведен в табл. 15.

Для изоляционных материалов используется только слюда, которая не содержит железа: слюда мусковит и слюда флогопит. Для коллекторного миканита в основном используется слюда флогопит¹. Это обусловлено тем, что в работающем коллекторе прокладка из миканита на флогопитовой слюде изнашивается практически позволяет при $D_k \leq 150 \div 180$ мм у машин, работающих при напряжении до 300 в, не продороживать верхнюю часть изоляционных прокладок. Миканитовая изоляция должна продороживаться в следующих случаях: 1) при $D_k > 180$ мм; 2) при повышенных нагрузках;

¹ Для коллекторов с металлическими корпусами, используемых в тяговых и других ответственных двигателях, необходимо применять мусковит.

Таблица 15

**Сортамент материалов для изоляционных пластин
и допускаемые отклонения по толщине**

Наименование и марка материала	Толщина, мм	Допускаемые отклонения	
		среднее	в отдельных точках
Миканит КФС, КФС, КФС; слюдаинит КС, КС-1	0,4; 0,5; 0,6	$\pm 0,03$ мм	$\pm 0,07$ мм
Миканит КФС, КФС; слю- динит КС, КС-1	0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5	$\pm 0,04$ мм	$\pm 0,08$ мм
Миканит КФА	0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2	$\pm 0,05$ мм	$\pm 0,10$ мм
Электронит	0,4—0,9	$\pm 0,10$ мм	$\pm 0,12$ мм
	1,0 и выше	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$

3) при окружных скоростях, превышающих 20 м/сек на рабочей части коллектора¹.

Получены положительные результаты при производстве коллекторов, имеющих слюдинитовые прокладки.

Прокопьевский завод «Электромашин» и ряд других заводов употребляют слюдинит во всех коллекторах на пластмассе для машин общепромышленного применения. Слюдаинит изготавливается по техническим условиям ОЭИ ВЭИ 63—58 и представляет собой твердопрессованный листовой материал, полученный из слюдинитового картона или слюдинитовой бумаги, пропитанной шеллачным, глифталевым или эпоксидным лаком. Коллекторный слюдинит выпускается марок КС и КС-1*. Толщина листов коллекторного слюдинита и допускаемые отклонения от номинальной толщины приведены в табл. 15.

Усадка при температуре 20°С и давлении до 600 кг/см² для слюдинита марки КС-1 составляет не более 7%, для марки КС — не более 9%. Средняя электри-

¹ Глубина выемки изоляционных прокладок принимается равной полуротной толщине прокладок.

* К—коллекторный; С—слюдаинит; 1—пониженная усадка.

ческая прочность должна быть не менее 20 кв/мм. Слюдаинит хорошо штампуются. Он отличается от миканитов большей однородностью и нагревостойкостью, но уступает им по механической прочности и влагостойкости.

В последнее время для изоляционных прокладок применяется также комбинация из миканита и слюдинита. Так, марки миканитов КФС и КФА по согласованию между электромашиностроительными заводами и предприятиями, выпускающими миканит, изготавливаются с напрессованными на обе стороны листа слоями 100-процентной слюдинитовой бумаги.

Ленинградский НИИасбоцемент разработал новый материал — слюдопласт, обладающий более высокой механической (в 3—4 раза) и электрической прочностью, чем слюдинит. Испытания опытных машин с коллекторами, в которых были применены изоляционные прокладки из слюдопласта, показали его полную пригодность для этих целей. После освоения промышленностью производства слюдопласта он должен найти широкое применение в электрических машинах, в частности для коллекторов, вытесняя миканит.

Московский завод «Динамо» имени Кирова ведет опытные работы по применению в коллекторах изоляционных прокладок из электронита. Партию электрических машин с коллекторами на пластмассе, у которых в качестве изоляции между пластинами также был применен электронит, выпустил Рижский электромашиностроительный завод.

Электронит — листовой материал, изготовленный по техническим условиям МХП 3485-53. Изготовление производится вальцеванием хризотилового асбестового волокна с натуральным и синтетическим (дивинильным) каучуком. Допускаемые отклонения по толщине электронита даны в табл. 15. Удельный вес электронита не менее 1,5 г/см³. Потери веса при прокаливании не более 32%. Увеличение веса после выдерживания образцов электронита в воде в течение 24 ч при температуре 20±2°С должно быть не более 7%. Электрическая прочность электронита толщиной до 0,5 мм должна быть не менее 7 кв/мм. Однако в связи с большой усадкой электронита необходимо листы его дополнительно прессовать при температуре 150—160°С и при удельном дав-

лении 500—800 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; лишь после этого он пригоден для изготовления изоляционных прокладок.

Известны попытки применить для прокладок различные изоляционные картоны. Так, немецкая фирма Каутт и Букс выпустила партии малых коллекторов с прокладками из изоляционного картона. При таких изоляционных прокладках в непродороженных коллекторах был обнаружен неравномерный износ медных пластин и картонных прокладок. Это явление вызвало недопустимое искрение и обугливание прокладок. Выступающие из-за неравномерного износа поверхности коллектора изоляционные прокладки из такого вязкого и эластичного материала, как картон, истирают угольные щетки примерно за одну десятую часть нормального срока их службы. Продороживание коллекторов с прокладками из картона связано с большими затруднениями, так как при механической обработке от картона трудно отделить стружку, а инструмент быстро нагревается и тухнет. Но и у продороженных коллекторов с прокладками из изоляционного картона с водопоглощаемостью до 1,5% даже при незначительной влажности происходило чрезмерное набухание прокладок. Явления набухания картонных прокладок наблюдались также при пайке выводов секций с коллекторными пластинами методом погружения в ванну с припоем.

8. АРМИРОВОЧНЫЕ КОЛЬЦА

В настоящее время применяются конструкции армированных колец, приведенные на рис. 34.

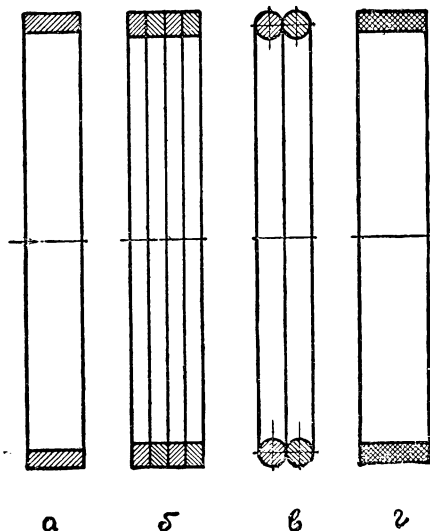


Рис. 34. Армировочные кольца.

а — кольцо из стальной трубы или полосы; б — то же из штампованных шайб; в — то же из двух витков проволоки; г — из пластмассы АГ-4С.

Одно из наиболее технологически удачных решений показано на рис. 34,а. Армировочное кольцо отрезается от стальной трубы нормального сортамента без обработки наружного и внутреннего диаметров. Марка стали выбирается при расчете механической прочности коллекторного корпуса и армировочных колец. Однако сортament не всегда позволяет подобрать трубу нужных размеров. В этом случае армировочное кольцо можно изготовить из стальной полосы: навить полосу на оправку, как пружину, разрезать ее по образующей и сварить кольца в стык, зачистив затем места сварки. При отсутствии полосы необходимых размеров такие кольца можно изготавливать из прутков или поковок. Однако эти способы трудоемки и требуют значительного расхода металла. В подобных случаях лучше применять конструкции армировочных колец, приведенные на рис. 34,б и в, имеющие значительное распространение.

Армировочное кольцо по рис. 34,б штампуются из листовой стали. Для получения требуемой ширины можно устанавливать по нескольку колец. У колец из проволоки (рис. 34,в) их заготовки, полученные путем разрезки навитой пружины, свариваются в стык, а затем полученные кольца привариваются друг к другу по

Таблица 16

Механические свойства пружинной проволоки, применяемой для армированных колец

механические свойства при изгибе, прогиб и разрыве									
Временное сопротивление разрыву, кг/мм^2	Диаметр, мм	Сечение, мм^2							
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0
сопротивление разрыву, кг/мм^2	I класс	260—300	250—280	240—270	230—260	220—250	210—240	200—230	170—195
	II класс	215—260	205—250	195—240	190—230	185—220	180—210	175—200	165—195
	III класс	170—215	165—210	155—210	150—190	145—185	140—180	140—180	130—165

парно таким образом, чтобы места сварки стыков свариваемых колец были расположены в диаметрально противоположных точках. В табл. 16 указаны механические свойства пружинной проволоки, применяемой для армировочных колец.

В некоторых конструкциях коллекторов, корпус которых изготавливается из пластмасс с низким модулем упругости, для армировочных колец можно применять высокопрочные анизотропные пластмассы с ориентированным наполнителем.

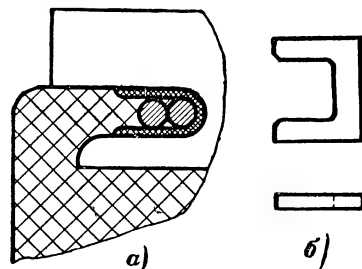


Рис. 35. Изоляция армировочных колец от пакета пластин.

а — изоляционные манжеты из пластмассы; б — изоляционные скобы.

лать всегда для коллекторов диаметром свыше 200 мм.

Завод специальных электрических машин в Будапеште применяет для изоляции армировочных колец прессованные манжеты, охватывающие кольца со стороны пластин, как это показано на рис. 35,а.

На рис. 35,б показана изоляционная скоба для фиксации армировочных колец в Т-образных пазах. Такие скобы устанавливаются по 6—10 шт. по окружности каждого армировочного кольца и предупреждают возможность замыкания коллекторных пластин армировочным кольцом, позволяя обойтись без дополнительной их изоляции. Особенно необходимы такие скобы при изоляционных прокладках из слюдинита, так как выступающие кромки слюдинитовых пластин легче сминаются при прессовании пластмассы, чем миканитовые, и случаи замыканий пластин армировочными кольцами могут быть довольно частыми. Скобы штампуются из стеклотекстолита толщиной 1—2 мм или прессуются из пластмасс различных марок.

9. ВТУЛКИ КОЛЛЕКТОРА

Крупные и средние коллекторы на пластмассе имеют обычно центральную металлическую втулку для посадки на вал. Коллекторы меньших диаметров, у которых пластмассовый корпус изготовлен из неволокнистых пресс-материалов, также, как правило, снабжаются втулкой во избежание появления трещин, так как прочность корпуса недостаточна для посадки на вал без металлической втулки.

Конструкция втулки должна предупреждать ее аксиальное перемещение и проворачивание относительно пластмассового корпуса. На рис. 36 показаны втулки, имеющие различное конструктивное оформление наружной поверхности, с которой сопрягается пластмассовый корпус. Наиболее технологичны конструкции по рис. 36,а и б. Эти конструкции можно применять для средних коллекторов диаметром 90—250 мм. Для крупных коллекторов лучше применять конструкцию по рис. 36,г.

Для машин с аксиальной вентиляцией через коллекторный корпус коллекторные втулки снабжают продольными вентиляционными каналами в тех случаях, когда вентиляционные отверстия не предусматриваются в пластмассовом корпусе.

Возможны также варианты втулок, изготовленных как одно целое с армировочными кольцами (рис. 36,д). Эти втулки изготавливаются из двух половин. Во фланцах, соединяющих половины центральной втулки с армировочными кольцами, делаются окна для прохода пластмассы при прессовании. Применение таких втулок не рекомендуется в связи с большим расходом металла и значительной трудоемкостью их изготовления.

Особое место занимают втулки для коллекторов с аралдитовой изоляцией. В этом случае втулка вместе с пластмассой служит коллекторным корпусом. Втулка имеет винтовую резьбу, которая нарезается на токарном станке и имеет в поперечном сечении форму ласточкина хвоста (см. рис. 21).

Материалом для втулок обычно служат стальные трубы, размеры которых выбираются с учетом соответствующих припусков на обработку. При отсутствии в сортаменте труб необходимых размеров втулки рекомендуется изготавливать из чугуновых отливок. В коллекторах тяговых электрических машин и аналогичных им по ха-

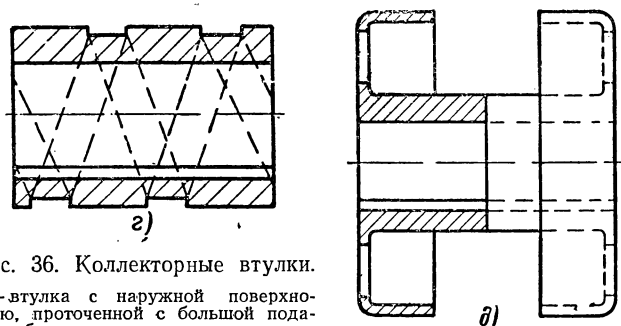
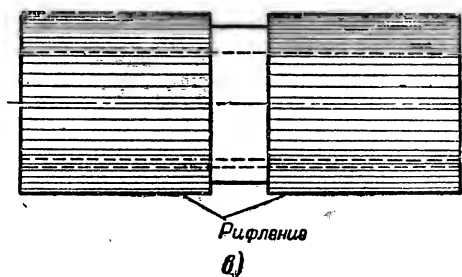
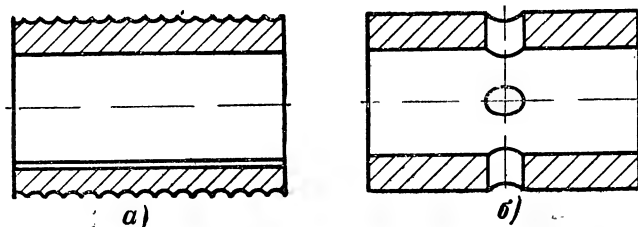


Рис. 36. Коллекторные втулки.

а — втулка с наружной поверхностью, проточенной с большой подачей; б — втулка со сверленными отверстиями; в — рифленая втулка с канавкой; г — втулка с винтовой канавкой; д — втулка, выточенная как одно целое с армировочными кольцами.

рактору механических нагрузок следует применять вместо чугуна стальное литье. Посадка втулки на вал производится обычно на шпонке.

10. ПЛАСТМАССОВЫЙ КОРПУС

Конфигурация наружной поверхности пластмассового корпуса определяется формой опорной части пластины и полностью копирует ее. Размеры несущей части пластмассового корпуса определяются расчетом из условий

необходимой прочности конструкции. При проектировании коллектора надо иметь в виду, что технологический процесс изготовления пластмассового корпуса позволяет при прессовании образовать как одно целое с ним различные фланцы, втулки, выступы и т. д.

В машинах постоянного тока часто применяются уравнивательные соединения. При коллекторе на пластмассе можно расположить эти соединения на специальном фланце, прессуемом одновременно с корпусом, с передней или задней стороны коллектора. Это позволяет обойтись без добавочных деталей или дополнительной механической обработки.

Опоры под головки секций якоря также можно выполнить заодно с коллекторным корпусом в виде фланца.

В теле коллекторного корпуса из пластмассы могут быть сделаны вентиляционные каналы для прохождения охлаждающего воздуха в аксиальном направлении. Эти каналы образуются при прессовании корпуса, для чего в пресс-форме предусматриваются соответственные пуансоны. Однако, как правило, вентиляционные каналы лучше делать в центральной металлической втулке. Пластмасса, обладая сравнительно низкой теплопроводностью, при омывании ее охлаждающим воздухом отдает во много раз меньше тепла, чем металлическая втулка, тем более что при этом требуется значительное утолщение стенок пластмассового корпуса, что в свою очередь ухудшает отвод тепла от коллекторных пластин.

Необходимо обратить внимание на то, что не следует делать кольцевых бортиков из пластмассы, перекрывающих торцы пластин. Если подобный коллектор при пайке погружается в ванну с припоем, то на его корпусе могут образоваться трещины, как это показано на рис. 37, или произойти отслаивание пластмассы по торцу. Необходимо, чтобы пластмассовый корпус не выступал по диаметру за хвостовую часть пластины. Тогда при на-

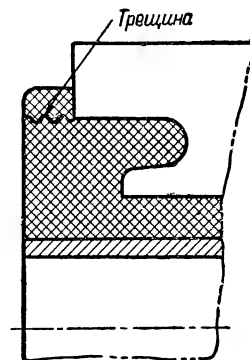


Рис. 37. Неправильное конструктивное оформление торцевой части пластмассового корпуса.

гревании рабочей части пластины они будут иметь возможность свободно расширяться.

Следует иметь в виду также и то обстоятельство, что применение в коллекторе пластмассового корпуса взамен металлического с миканитовой изоляцией изменяет условия передачи тепла от пластин коллектора к втулке коллектора и валу якоря. При конструировании коллектора с пластмассовым корпусом необходимо учитывать это обстоятельство, особенно если машина имеет закрытое исполнение и фактическое превышение температуры коллектора электрической машины над температурой окружающего воздуха близко к предельно допустимому.

У закрытых машин теплоотдача в окружающий воздух с наружной поверхности коллектора происходит менее интенсивно, чем у вентилируемых машин, и доля тепла, отводимого от коллекторных пластин через втулку и вал, повышается. В связи с этим необходимо создавать наилучшие условия теплоотдачи от коллекторных пластин через пластмассовый корпус на металлическую втулку и вал.

Как известно [Л. 24], линейный коэффициент теплоотдачи цилиндрической стенки определяется формулой

$$k = \frac{1}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}, \quad (11)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$;
 $\ln \frac{d_2}{d_1}$ — натуральный логарифм отношения наружного и внутреннего диаметров цилиндрической стенки.

Термическое сопротивление цилиндрической стенки находится по формуле

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град/ккал}. \quad (12)$$

Следовательно, термическое сопротивление для данного материала растет пропорционально натуральному логарифму отношения наружного и внутреннего диаметров цилиндрической стенки.

Поясним это на примере. У коллектора ДК-908 наружный диаметр пластмассового корпуса составляет 75 мм (размеров фланцев мы в данном случае не учитываем), внутреннего — 50 мм. Принимая для массы К-6

коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,3 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$, получаем термическое сопротивление стенки коллекторного корпуса

$$R = \frac{1}{2 \cdot 0,3} \ln \frac{75}{50} = 0,675 \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град/ккал}.$$

Если принять конструкцию коллектора ДК-908 без центральной металлической втулки, то внутренний диаметр пластмассового корпуса составит 34 мм. Тогда

$$R = \frac{1}{2 \cdot 0,3} \ln \frac{75}{34} = 1,32 \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град/ккал}.$$

Таким образом, при увеличении толщины стенки пластмассового корпуса от 12,5 до 20,5 мм, т. е. в 1,64 раза, термическое сопротивление возрастает в 1,96 раза.

При неизменной толщине стенки коллекторного корпуса с уменьшением диаметра корпуса термическое со-

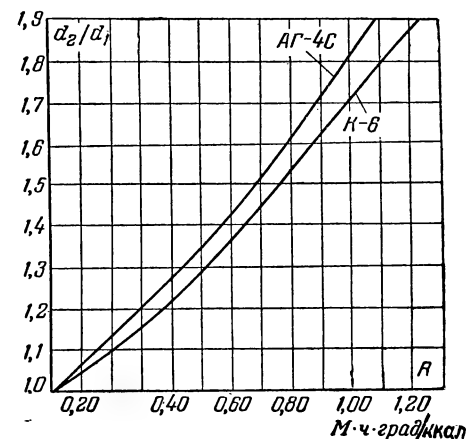


Рис. 38. Термическое сопротивление пластмассовых корпусов из пластмасс АГ-4 и К-6 в зависимости от отношения наружного и внутреннего диаметров.

противление также возрастает. Так, для массы К-6 при толщине стенки 10 мм и наружном диаметре корпуса 150 мм термическое сопротивление составляет $0,234 \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град/ккал}$, а при наружном диаметре 90 мм $0,417 \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град/ккал}$, т. е. на 78% больше.

На рис. 38 даны кривые для определения термического сопротивления стенки коллекторного корпуса, изготовленного из пластмасс К-6 и АГ-4; этими кривыми можно пользоваться при сопоставлении различных вариантов конструкций коллекторных корпусов по их термическому сопротивлению.

Для коллекторов, работающих при предельно допустимых температурах, надо стремиться при конструировании к тому, чтобы толщина пластмассовой стенки корпуса не выходила за пределы, определяемые расчетом механической прочности. Чтобы получить тонкие стенки корпуса, следует применять пластмассы с наилучшими характеристиками по механической прочности и обязательно армировать корпуса.

Кроме того, надо учитывать, что на толщину стенки корпуса влияет способ заделки пластин в пластмассу. Для коллекторов, работающих при более высоких температурах, опорные выступы пластин типов 1 и 2 предпочтительнее, чем типов 3 и 4. Наилучшей в этом отношении является конструкция пластины с продольным ласточкиным хвостом 16—6, позволяющая получить наименьшие толщины пластмассовых стенок коллектора.

Несколько замечаний о посадке коллекторов с пластмассовым корпусом на вал якоря. Коллекторы на пластмассе, но с центральной металлической втулкой по существу в этом отношении не отличаются от коллекторов с металлическими корпусами.

Микроколлекторы и малые коллекторы на пластмассах марок АГ-4 и К-6 могут выполняться без центральной металлической втулки. Небольшие размеры вала обуславливают достаточно надежную посадку коллектора при сравнительно малых натяжениях, например при плотной посадке 2-го класса точности.

Посадка этих коллекторов на рифленую шейку вала якоря производится под прессом с помощью оправки, обеспечивающей передачу давления на весь торец пластмассового корпуса. Перед напрессовкой посадочная поверхность коллектора и рифленая часть вала обезжириваются и покрываются бакелитовым лаком или клеем БФ-4. При последующей сушке якоря с обмоткой связывающие вещества полимеризуются и коллектор предохраняется от аксиальных перемещений. Для предохранения от проворачивания коллектора шейка вала якоря

может быть рифленой. Это выполняется цилиндрической прямоугольной накаткой на токарном станке с последующим шлифованием накатанной поверхности. Под накатку вал обычно обрабатывается с допуском X_4 ; этот допуск следует уточнять при отлаживании технологического процесса в зависимости от формы зуба накатки и ее шага. Шаг накатки принимается для микроколлекторов равным 0,5 мм, для малых коллекторов — 1 мм, для средних — 1,5 мм. Накатка выполняется так, чтобы ее гребешки сошлифовались по диаметру не более чем на 0,5—0,8 мм. Шлифование необходимо в связи с тем, что при накатке нельзя обеспечить нужной точности посадочного диаметра, например по плотной посадке, применяемой для этого сочленения.

Надо иметь в виду, что более напряженные посадки увеличивают усилия, необходимые для напрессовки коллектора на вал, и могут даже быть причиной разрушения пластмассового корпуса. Накатывается обычно вся длина посадочной шейки вала.

Чтобы обеспечить размеры отверстия коллектора по 2-му классу точности это отверстие либо развертывается, либо после извлечения горячего коллектора из прессформы в него вставляется шлифованная оправка, калибрующая отверстие по нужному размеру при остывании коллектора.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПЛАСТМАССЫ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ

11. ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ПЛАСТМАСС

При изготовлении коллекторов применяются различные пластические массы. В отечественном электромашиностроении наибольшее распространение получили фенольно-формальдегидные композиции с длинноволокнистыми наполнителями. В некоторых конструкциях используются пресспорошки (табл. 17). Зарубежные фирмы для коллекторов на пластмассе применяют бакелитовые пресспорошки, а для коллекторов с металлическими корпусами и пластмассовой изоляцией пакета пластин от корпуса — эпоксидные компаунды на основе смолы аралдит,

Таблица 17
Основные характеристики пресс-порошков, применяемых при изготовлении коллекторов

Характеристика	Единица измерения	Марка прессматериала		
		5006/8		K-21-22
		нормального исполнения	с повышенной прочностью	ГОСТ 5689-51
Временное сопротивление разрыву	кг/см^2	150	250	500
Временное сопротивление сжатию	"	1 200	1 200	1 500
Временное сопротивление изгибу	"	450	700	600
Модуль упругости	"	$0,1 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^6$	$0,075 \cdot 10^6$
Удельная ударная вязкость	$\text{кг} \cdot \text{см/см}^2$	2,5	15	4,2
Длительная допускаяемая наивысшая температура	$^{\circ}\text{C}$	150	150	100—110
Удельное поверхностное электрическое сопротивление	ом	10^8	10^7	10^{13}
Электрическая прочность	кв/мм	—	—	13
Усадка	%	—	—	$0,6—1,0$
Водопоглощение за 24 ч	г/дм^2	—	—	0,25
Удельный вес	г/см^3	Около 1,5	1,5	1,4

Широко применяется асбрезольная масса марки К-6. Это термореактивный прессовочный материал на основе фенольно-формальдегидных смол резольного типа с минеральным волокнистым наполнителем — асбестом, отдельные волокна которого толщиной не больше 1,5 мм имеют неопределенную форму. Масса К-6 применяется для изготовления деталей, к которым предъявляются повышенные требования по механической прочности и теплостойкости (физико-механические характеристики массы приведены в табл. 18).

Недостатком массы К-6 является наличие в асбестовом волокне включений железа. Однако, как показала практика заводов РЭЗ и «Электромашина» (Прокопьевск), это не мешает применять ее в коллекторах, работающих даже при высоких напряжениях. Конструкция и размеры коллекторов позволяют обычно иметь достаточную толщину пластмассовых частей. Случаи замыканий соседних пластин и пробоев на корпус в процессе производства при правильном проведении технологического процесса и применении прессмасс нормальной кондиции редки, а при эксплуатации сотен тысяч машин с коллекторами на массе К-6 их вовсе не наблюдалось. Некоторые модификации массы, например К-6Б с наполнителем из тонкого (чесаного) асбестового волокна, имеют повышенную электрическую прочность. В 1958 г. выпущены опытные партии массы К-6 с асбоволокном Аспогажского месторождения. В этой массе почти полностью отсутствуют включения железа; средняя пробивная напряженность ее около 6 кв/мм.

Масса К-6 обладает гигроскопичностью несколько большей, чем у других пластмасс, применяемых в коллекторах (см. табл. 17 и 18). Однако гигроскопичность изделий из массы К-6 резко снижается при сохранении у отпрессованных деталей глянцевой слоя. Поэтому, несмотря на отмеченные выше недостатки, масса К-6 является основным материалом для изготовления корпусов мелких и средних коллекторов. Некоторое увеличение механической прочности материала и устранение из него металлических включений еще более расширят область его применения.

В последние годы в коллекторном производстве успешно применяется стеклопластик АГ-4. Эта прессовочная композиция в настоящее время является одной

Характеристика	Единица измерения	Марка прессматериала				
		К-6		АГ-4		
		По ТУ 412-52	По [Л. 9]	По ОМТУ 431-57	По [Л. 14]	
		АГ-4В	АГ-4С	АГ-4В	АГ-4С	
Механические свойства						
Предел прочности при растяжении	кг/см ²	200—500	250—690	800	2 000	800—1 200
То же при сжатии	"	800	850—1 270	1 300	1 300	1 300—2 000
То же при статическом изгибе	"	700	770—1 150	1 000	2 000	1 500—2 000
Модуль упругости	"	—	(0,15—0,25)·10 ⁶	—	—	(0,12—0,15)·10 ⁶
Удельная ударная вязкость	кг·см/см ²	18—20	18—20	25	100	50—100
Электрические свойства						
Удельное объемное электрическое сопротивление	ом·см	10 ⁶	10 ⁶	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹² —10 ¹⁴
Удельное поверхностное сопротивление	ом	10 ⁷	10 ⁷	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹² —10 ¹³
Электрическая прочность	кв/мм	0,5—0,9	0,5	13	13	15—18
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 100 гц	—	—	0,8—1,0	0,05	0,05	0,03
Диэлектрическая проницаемость при частоте 100 гц	—	—	—	8,0	8,0	7,0—6,0
Физические свойства						
Удельный вес	г/см ³	Не более 1,95	1,7—1,8	1,7—1,8	1,7—1,8	1,7—1,85
Теплостойкость по Маргенсу	°C	200	200	280	280	320
Коэффициент линейного расширения до 100°С (10 ⁻³ на 1°С)	—	—	0,8—1,5	—	—	1,5—2,0
Коэффициент теплопроводности до 100°С	ккал/м·ч·град	—	0,20—0,36	—	—	0,266
Усадка	%	0,4	0,4	—	—	0,2
Морозостойкость	°C	—	—	До 0,15	До 0,15	0,266
Водопоглощение за 24 ч	г/дм ³	0,5	0,8	До -60	До -60	0,2
Допускаемая рабочая температура	°C	—	200	0,05	0,05	0,03
Влага и летучие вещества	—	—	—	2,5—7,0	—	200
				До 5,0		в легкое время в зимнее время

из лучших конструкционных пластмасс; она обладает высокой механической и электрической прочностью в сочетании с теплостойкостью и хорошими технологическими свойствами. Физико-механические свойства массы приведены в табл. 18. Стеклопластик АГ-4 пригоден для переработки в изделия общепринятыми методами формования пластмасс¹. АГ-4 представляет собой термореактивный волокнистый материал на основе модифицированной фенольно-формальдегидной смолы Р-2 и расположенного хаотически или в одном направлении обесцелоченного стекловолокна с диаметром нитей 7—9 мк. Для увеличения адгезии связующего вещества смолы Р-2 модифицируется клеем БФ-4. При оптимальном содержании клея БФ-4 в композиции, равном 25% содержания смолы Р-2, материал приобретает максимальную теплостойкость и прочность. Добавка анилина улучшает диэлектрические свойства материала и положительно влияет на его механическую прочность.

В соответствии с техническими условиями прессматериал АГ-4 изготавливается двух марок: АГ-4В и АГ-4С.

В прессматериала АГ-4В в качестве наполнителя применяют предварительно нарезанное (на отрезки длиной 2—10 см) и распушенное стеклянное волокно. Готовый материал представляет собой композицию из неориентированных волокон, пропитанных смолой. Содержание стекла — до 70% по весу.

Наполнителем прессматериала АГ-4С являются длинные ориентированные нити, равномерно покрытые связующим веществом. Готовый материал выпускается в виде непрерывных лент различной ширины. Содержание стекла примерно такое же, как у марки В. АГ-4С представляет собой анизотропный материал; использование его для переработки в изделия требует предварительной подготовки материала.

Прессматериал АГ-4 обладает несомненными преимуществами перед массой К-6 и другими прессматериалами, применяемыми для пластмассовых корпусов коллекторов. Это прежде всего более высокая механическая и электрическая прочность, позволяющая расширить диа-

¹ Однако, как будет показано в дальнейшем, при изготовлении изделий методом прямого прессования обычно не удается получить характеристики, аналогичные приведенным для данного материала в табл. 18.

пазон диаметров коллекторов на пластмассе. Применение АГ-4 позволяет делать средние и даже некоторые крупные коллекторы без металлической арматуры. В тех случаях, когда по условиям прочности и эксплуатационной надежности армировочные кольца необходимы, их можно для отдельных конструкций изготавливать из мас-

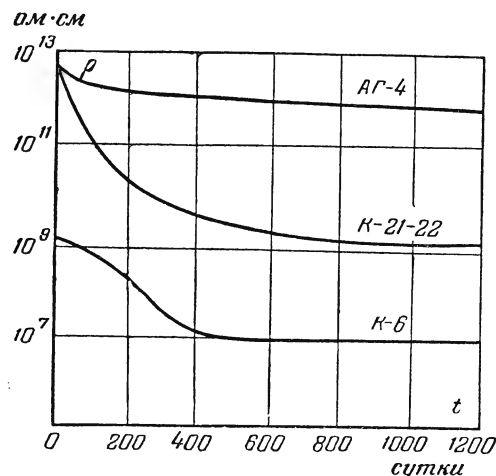


Рис. 39. Сравнительное изменение диэлектрических свойств различных материалов при длительном хранении во влажной среде.

сы АГ-4С вместо стали. Такая замена особенно рациональна в коллекторах высокого напряжения.

Одной из отличительных особенностей прессматериала АГ-4 является весьма малая усадка его. Это очень важно для получения точной рабочей поверхности коллектора и повышения несущей способности пластмассового корпуса, так как усадка вызывает появление добавочных внутренних напряжений.

Высокие изоляционные свойства массы АГ-4 при хранении и эксплуатации изделий в различных условиях более стабильны, чем у других прессматериалов. На рис. 39 в качестве примера показано, как изменяется удельное объемное сопротивление стандартных дисков, отпрессованных из материалов АГ-4, К-6, К-21-22, в зависимости от срока выдержки в гигростате при относительной влажности 93—95%.

Применение массы АГ-4 сокращает производственный цикл изготовления коллектора, так как время термообработки после прессовки изделий из АГ-4 значительно меньше времени термообработки изделий из массы К-6.

Стеклопластик АГ-4 имеет некоторые недостатки. Переработка прессматериала АГ-4В в изделия затруднена слишком большим удельным объемом его, из-за чего значительно увеличиваются загрузочные камеры пресс-форм; неравномерная пропитка наполнителя связующим веществом приводит к большим колебаниям прочности деталей и их размеров; высокая токсичность заставляет принимать специальные защитные меры. При работе с массой АГ-4В выделяется много стеклянной пыли, которая вызывает у работающих раздражение кожи и слизистых оболочек. Эти недостатки существенно затрудняют применение массы АГ-4В в коллекторах. Использование массы АГ-4В для прессования несущих корпусов требует специальной предварительной переработки массы. Прессматериал АГ-4С лишен перечисленных выше недостатков, но также требует предварительной подготовки материала к прессованию.

Необходимо отметить, что в настоящее время стоимость массы АГ-4 все еще значительно выше, чем стоимость массы К-6.

Известны попытки применения в малых и средних коллекторах вместо массы К-6 стекловолокнита — прессматериала на основе резольной смолы и отходов бесщелочного стекловолокна (по ТУ МЭС и ЭП ОИИ 503, 306-53). Такая замена нежелательна из-за более низкой теплостойкости, худшей текучести и пониженной прочности стекловолокнита по сравнению с массой К-6, тем более что стоимость стекловолокнита в несколько раз выше стоимости массы К-6.

Завод специальных электрических машин в Будапеште применяет для коллекторов диаметром до 120 мм полиэфирные стеклопластики с наполнителем из стекломагов.

При изготовлении коллекторов диаметром 90 мм ХЭМЗ применяет прессматериал термолит собственного изготовления. Этот материал изготавливается на основе идитоловых смол с порошковыми наполнителями. Сопротивление его статическому изгибу — около 350 кГ/см², а удельная ударная вязкость 3,3 кГ·см/см².

Таблица 19
Прочность стеклопластиков
типа АГ-4С

Марка материала	Предел кратковременной статической прочности при растяжении, кг/см^2
М-7С	2 000
П-50С	2 000
П-75С	2 500
33-18С	6 000
ЭФ-С	6 000
27-63С	9 000

корпусов коллекторов диаметром до 40 мм применяются бакелитовые пресс-порошки. Карболитовые порошковые материалы с органическим или минеральным наполнителем типа К-21-22 применяются только для микроколлекторов диаметром до 25 мм и для малых и средних коллекторов, у которых основную нагрузку воспринимают армирующие элементы¹. Для изготовления коллекторов больших диаметров порошковые прессматериалы непригодны из-за низких механических свойств.

Перспективными материалами для коллекторов на пластмассе являются новые высокопрочные марки отечественных стеклопластиков типа АГ-4С, прочность которых характеризуется данными табл. 19.

12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТМАСС К-6 и АГ-4

Из рассмотренных выше отечественных прессматериалов в настоящее время наиболее пригодными для изготовления корпусов коллекторов являются массы К-6 и АГ-4. В табл. 18 включены характеристики, содержащиеся в технических условиях на пластические массы К-6 и АГ-4, и результаты специальных исследований.

Масса К-6 представляет собой изотропный материал, конструкционная прочность которого при испытаниях в различных направлениях примерно одинакова. Стеклопластик АГ-4С является анизотропным материалом, прочность которого ориентирована вдоль волокна. Необходимо отметить, что высокие показатели массы АГ-4С

¹ Порошки типа К-21-22 обладают недостаточной теплоустойчивостью для применения их в нагруженных коллекторах.

Завод Фимаг (ГДР), выпускающий коллекторы диаметром до 200 мм с пластмассовыми корпусами армированными металлом, употребляют массу 5006/8 на фенольном лаке с наполнителем из слюдяной крошки.

Заводом специальных электрических машин (Будапешт) для

по прочности, приведенные в табл. 18, получены при испытании образцов, отпрессованных из специально уложенных лент, при приложении силы вдоль волокон. При испытании в направлении, перпендикулярном плоскости волокон, σ_b массы падает до 200 кг/см^2 .

Несущий пластмассовый корпус коллектора представляет собой силовую деталь крупного габарита и сложной конфигурации, изготавливаемую, как правило, методом прямого прессования. Вес используемой на один корпус массы может достигать 18—20 кг. Для улучшения несущей способности пластмассового корпуса необходимо получить достаточную изотропность материала корпуса. Масса К-6 рассчитана для переработки в изделии методом прямого прессования и имеет в опрессованном состоянии достаточно однородную структуру. При соблюдении оптимальных технологических режимов прессования и термообработки корпуса из массы К-6 получаемые показатели по прочности соответствуют данным табл. 18.

Условия формования изделий из массы АГ-4С имеют некоторые особенности. Материал этой марки в виде лент целесообразно применять лишь для изготовления деталей, имеющих простую геометрическую форму, для которой можно предварительно сделать заготовку. В этом случае материал в изделии имеет прочность, указанную в табл. 18. Таким образом, высокие свойства массы АГ-4С по прочности могут быть реализованы только при изготовлении деталей простой формы. Показатели по прочности, получаемые при прессовании из стеклопластика АГ-4С корпусов коллекторов, существенно меньше табличных.

Для получения более однородной структуры масса АГ-4С подвергается экструдированию. Такая подготовка материала способствует получению изотропной структуры. Одновременно улучшаются технологические свойства массы, а волокна наполнителя более равномерно распределяются по всей структуре детали. Механическая прочность массы (табл. 20) несколько снижается, но все же остается достаточно высокой.

Физические свойства материалов К-6 и АГ-4, переработанных в изделия, в основном соответствуют табличным данным и, что очень ценно для коллекторов на пластмассе, остаются достаточно стабильными при действии

Таблица 20

Изменение механических свойств массы АГ-4С
при экструдировании

Состояние материала	Предел прочности при растяжении, кг/см ²	Модуль упругости, кг/см ²
Укладка из лент; соотношение продольных и поперечных волокон 1:1, среднее значение по ОМТУ 431-57	2 000	0,32·10 ⁻⁶
Лента, нарезанная на кусочки длиной 20 мм, среднее значение	800	—
Экструдированная масса, среднее значение, данные [Л. 3]	685*	—
Экструдированная масса. Образцы отпрессованы по оптимальным режимам, среднее значение	1 000	0,27·10 ⁻⁶
Экструдированная масса. Образцы отпрессованы по оптимальным режимам с предварительным подогреванием ТВЧ	1 400	0,27·10 ⁻⁶

* Пониженное значение σ_B получено, по-видимому, потому, что образцы были изготовлены не по оптимальным режимам.

повышенных температур и влажности. Для массы К-6 данные об изменении диэлектрических свойств приведены в табл. 21.

Таблица 21

Показатели	При температуре t , °С	
	20	90
Объемное электрическое сопротивление, Ом·см	10 ⁸	10 ⁶
Пробивное напряжение (диэлектрическая прочность), кВ/мм	0,7	0,5

Стеклопластик АГ-4 при длительном воздействии повышенных температур отличается высокой устойчивостью диэлектрических свойств (табл. 22 *).

* У отдельных партий массы АГ-4 теплостойкость оказалась ниже 200°С.

Общим недостатком масс К-6 и АГ-4С как материала для корпусов коллекторов, является их низкая теплопроводность, что приводит к появлению температурных напряжений в пластмассовом корпусе при резких перепадах температур, например при пайке коллектора. Попытки ввести в связующее вещество стеклопластика АГ-4 полиамидные смолы с целью увеличить его теплопроводность (материалы П-25 и П-75 С) привели к снижению термостойкости материала до 120°С (по Мартенсу). Поэтому в настоящее время приходится принимать специальные конструктивные и технологические меры, чтобы избежать появления термических трещин.

Необходимо отметить, что масса К-6 лучше ведет себя при нестационарных тепловых режимах, чем масса АГ-4.

Таблица 22

Изменение диэлектрических свойств массы АГ-4С
под действием температуры и влажности

Показатели	Нормальные условия	При $t = 200^\circ \text{C}$	После пребывания при $t = 200^\circ \text{C}$ в течение 500 ч	После выдерживания в условиях тропической влажности	
				48 ч	200 ч
Объемное электрическое сопротивление, Ом·см	$3 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{12}$	$9 \cdot 10^{11}$
Пробивное напряжение (диэлектрическая прочность), кВ/мм	15	8,2	—	15	1

Механическая обработка деталей из АГ-4 не снижает их диэлектрических свойств, так как компоненты этого материала негигроскопичны и влагопоглощение обработанной поверхности незначительно. Для массы К-6 любая механическая обработка нежелательна, так как разрушение глянцевого поверхностного слоя отпрессованной детали повышает ее гигроскопичность. В тех случаях, когда механическая обработка необходима, обработанная поверхность должна быть покрыта бакелитовым лаком и запечена.

Прочностные характеристики пластмасс существенно зависят от температуры эксплуатации. В табл. 18 на основании данных технических условий свойства пластмасс по прочности при повышенных температурах оцениваются величиной теплостойкости по Мартенсу. Как показали исследования [Л. 27 и 31], эта величина может служить лишь для некоторого качественного сравнения

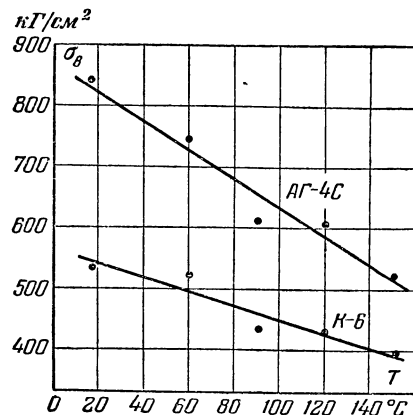


Рис. 40. Зависимость предела кратковременной статической прочности от температуры испытания.

масс К-6 и особенно АГ-4. Специально проведенные исследования показали незначительное изменение свойств АГ-4 по прочности при длительном воздействии влаги. Отмечено [Л. 28], что пребывание стеклопластика АГ-4С в воде в течение около 1 000 ч привело к изменению модуля упругости всего на 2%.

Существующие конструктивные пластмассы, в том числе К-6 и АГ-4, представляют собой материалы с ограниченной долговечностью, так как их прочность сильно зависит от времени воздействия нагрузок. Длительное воздействие статических и динамических нагрузок на эти материалы приводит к значительному изменению их механических показателей, что должно быть учтено при проектировании коллекторов.

Данные табл. 18 отражают результаты кратковременных испытаний при комнатных температурах. Для оцен-

материала, но не характеризует рабочей температуры масс и не является расчетной характеристикой. Даже предел кратковременной статической прочности уменьшается при повышении температуры испытаний (рис. 40). Поэтому допускаемые расчетные напряжения должны быть скорректированы с учетом температуры эксплуатации.

Влажность оказывает незначительное влияние на механические характеристики

ки несущей способности пластмассовых конструкций необходимо знать предел длительной прочности применяемых пластических масс и изменение его в зависимости от температуры. Иными словами, вместо одного числа — предела кратковременной статической прочности, содержащегося в технических условиях на массы К-6 и АГ-4, необходимо иметь семейство кривых длительной прочности во всем диапазоне эксплуатационных температур.

В настоящее время для масс К-6 и АГ-4 эти данные отсутствуют. На основании обработки разрозненных экспериментальных данных, в основном зарубежных [Л. 13], для стеклопластиков рекомендуются приведенные в табл. 23 коэффициенты, учитывающие падение прочности¹.

Таблица 23

Нормативные и расчетные характеристики для стеклопластиков

Материал	Вид напряженного состояния	Сопротивление по техническим условиям, кг/см²	Коэффициент длительной прочности с учетом неоднородности материала	Расчетное сопротивление, кг/см²
Стеклопластик с наполнителем в виде ориентированных нитей (типа АГ-4С)	Растяжение	σ _в	0,56	0,56 σ _в
	Сжатие	σ _{в-сж}	0,45	0,45 σ _{в-сж}
	Изгиб	σ _{в-и}	0,45	0,45 σ _{в-и}
Стеклопластик с хаотически расположенным наполнителем (типа экструдированной массы АГ-4С, АГ-4В)	Растяжение	σ _в	0,40	0,40 σ _в
	Сжатие	σ _{в-сж}	0,33	0,33 σ _{в-сж}
	Изгиб	σ _{в-и}	0,35	0,35 σ _{в-и}

Для выбора расчетного сопротивления используются также параметрические кривые, которые дают зависимость между длительной прочностью σ и характерным

¹ В табл. 23 учтена возможная неоднородность деталей из пластмасс.

параметром p . В параметре p объединены температура испытаний T и время до разрушения τ :

$$p = T(C + \lg \tau), \quad (13)$$

где C — постоянная материала¹. Такие кривые для экструдированной массы АГ-4С, построенные на основании экстраполяции результатов кратковременных испытаний на длительную прочность [Л. 31], показаны на рис. 41.

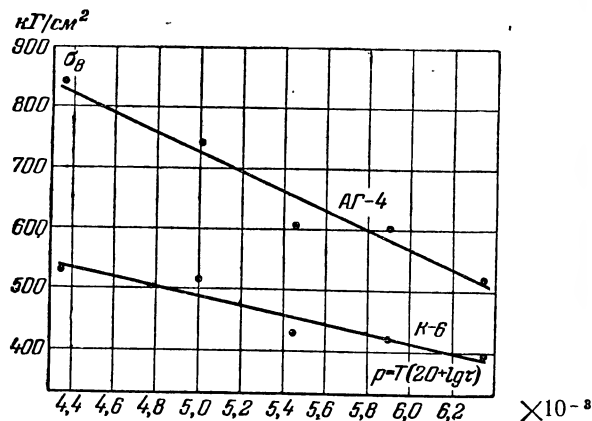


Рис. 41. Параметрические кривые для экструдированной массы АГ-4С и массы К-6.

Зная срок службы, на который рассчитывается коллектор, и эксплуатационную температуру, легко установить пользуясь графиком на рис. 41, допускаемый уровень напряжений и оценить несущую способность деталей. Эти величины и должны быть использованы при расчете на прочность несущего пластмассового корпуса коллектора.

Как уже упоминалось, длительное воздействие динамических нагрузок приводит к значительному изменению прочности пластмасс. На это изменение оказывают влияние размеры детали, частота и характер нагружения, окружающая среда и ряд других факторов. Поэтому экспериментальные данные, полученные на стандартных образцах, недостаточны для характеристики усталостной

прочности материала в конструкции и в отдельных случаях крайне желательны натурные испытания конструкции.

При лабораторных исследованиях стеклопластика АГ-4 получены следующие результаты (табл. 24) [Л. 30].

Таблица 24

Усталостная прочность стеклопластика АГ-4 при изгибе

Материал	База испытаний, млн. циклов	Прочность при изгибе		Коэффициент усталости k , %
		усталостная, кг/см²	статическая, кг/см²	
АГ-4В	10	350	1 000	35
АГ-4С	10	600	2 000	30

Испытания велись на машине консольного типа с частотой нагружения 2 840 циклов/мин; $k = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{в.п}}$ — коэффициент, выражающий долю сохранившейся прочности после некоторого числа циклов утомления. Необходимо отметить, что экструдированная масса имеет более высокий коэффициент усталостной прочности.

13. ЭПОКСИДНЫЕ КОМПАУНДЫ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ

Как отмечалось ранее, некоторые зарубежные фирмы для коллекторов на металлических корпусах с пластмассовой изоляцией пакета пластин от корпуса применяют эпоксидные компаунды на базе смолы аралдита. Эпоксидные смолы в исходном состоянии термопластичны. В зависимости от рода и количества введенного в смолу отвердителя можно получить термореактивные продукты, отличающиеся высокой химической стойкостью, механической прочностью и стабильностью электрических свойств. Выбор отвердителя из неорганических или органических веществ зависит от назначения компаунда.

Для коллекторных компаундов в качестве отвердителей применяются органические пероксиды в виде паст и порошков. Полимеризация начинается после введения отвердителей и происходит в зависимости от количественного содержания и свойств отвердителей в течение времени от нескольких часов (при обычной температуре) до нескольких минут (при температуре 110—130°С).

Требуемые физико-механические свойства компаундам на базе смолы аралдита придают различные наполнители, в зависимости от которых резко меняются свойства компаундов. В качестве наполнителей используются кварцевый песок, стеклянная и асбестовая мука и др. Для коллекторных компаундов фирма Сименс-Шукерт применяет хорошо размельченный кварцевый песок. Компаунд

¹ Для стеклопластиков $C=20$ по данным [Л. 49].

надежно работает при температурах до 120°С. При этом в отличие от стеклопластиков эпоксидные компаунды хорошо проводят тепло. Материал устойчив против воздействия кислот, щелочей, масла, бензина, морозостоек (может работать при температуре до -40°С). Высокая влагостойкость позволяет широко применять его для коллекторов электрических машин в тропическом исполнении.

Таблица 25

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЛЕКТОРНОГО КОМПАУНДА

Характеристика	Размерность	Величина
Предел прочности при растяжении . .	кг/см ²	750—850
То же при сжатии	"	2 000—2 200
То же при изгибе	"	800—1 100
Модуль упругости	"	0,125·10 ⁶
Диэлектрическая прочность	кв/мм	14
Поверхностное электрическое сопротивление	ом	10 ³
Температурный коэффициент линейного расширения (10 ⁻⁵ на 1°С)	—	0,35
Усадка	%	0,3
Удельный вес	г/см ³	1,77

Полимеризация компаунда на базе смолы аралдит идет без выделения летучих веществ. Благодаря этому и вследствие возможности получения жидких консистенций материалов изделия можно изготавливать методом обычной заливки без давления.

В случае, когда аралдит в состоянии поставки находится в твердом состоянии, а отвердитель нерастворим при комнатной температуре, смешивание и дальнейшее применение компаунда осуществляются при подогревании до 60—130°С. Аралдит и катализатор смешиваются перед самым употреблением. Реакция отверждения идет с некоторым выделением тепла. Усадка зависит от компонентов компаунда и температуры заливки. Усадка возрастает при повышении температуры. Введение наполнителя существенно снижает абсолютное значение усадки [Л. 44].

Фирма Сименс-Шуккерт применяет компаунд, допускающий предельную температуру 120°С, но практически применяет коллекторы в машинах, максимальная температура в которых не превышает 100°С. Однако по данным фирмы Цига (Швейцария), поставляющей аралдит в очень широком ассортименте [Л. 56], могут быть получены компаунды и для работы при более высокой температуре, например аралдит марки F с отвердителями 912 и 972. При этом, для того чтобы получить термостойкость по Мартенсу примерно 130°С, необходимо производить отверждение при температуре не ниже 100°С, а для того чтобы термостойкость по Мартенсу довести до 140—160°С, необходима та же доза отвердителя, но длительное дополнительное отверждение при 150—180°С.

На основе аралдита F и отвердителя 912 могут быть получены изделия, имеющие термостойкость по Мартенсу до 170—180°С.

14. ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ

Прочностные свойства силовых пластмассовых деталей в значительной мере определяются технологическим процессом их изготовления: температурой, временем и удельным давлением прессования, а также режимами последующей термообработки. Как показал опыт изготовления крупногабаритных деталей из массы АГ-4С, оптимальные технологические режимы существенно отличаются от рекомендованных техническими условиями на прессматериал. В связи с этим возникла необходимость установить оптимальные технологические режимы прессования и последующей термической обработки, обеспечивающие максимальные механическую и электрическую прочность. С этой целью было изучено влияние температуры и удельного давления прессования на кратковременную статическую прочность σ_b прессматериалов К-6 и АГ-4С. Эксперименты проводились на стандартных образцах (ГОСТ 4649-55). Необходимо отметить, что эти образцы были разработаны для испытания порошковых пластмасс и малоприспособны для получения количественных оценок прочности пластмасс с длинноволокнистыми наполнителями. Однако они вполне приемлемы для получения сравнительных качественных зависимостей.

Для массы К-6 получены показанные на рис. 42 зависимости σ_b от температуры (рис. 42,а) и давления (рис. 42,б) (время выдержки в пресс-форме равно 1 мин/мм). Как видно из кривых, оптимальными технологическими режимами прессования являются температура прессования $t=160\div180^\circ\text{C}$ и удельное давление прессования $p=350\text{ кг/см}^2$.

Изучение влияния режимов прессования на прочность стеклопластика АГ-4 проводилось на предварительно экструдированной массе АГ-4С. Результаты экспериментов приведены на рис. 43,а и б. Оптимальными технологическими режимами прессования этой массы оказались температура прессования $t=130\div135^\circ\text{C}$ (рис. 43,а) и удельное давление прессования $p=500\text{ кг/см}^2$ (при времени выдержки в пресс-форме, равном 1 мин/мм) (рис. 43,б). Как показывает опыт изго-

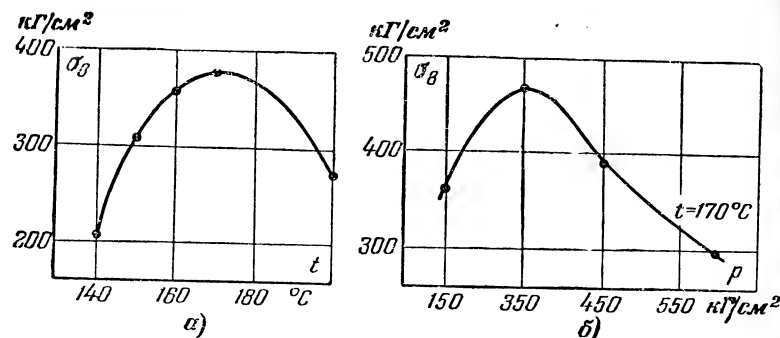


Рис. 42. Зависимость кратковременной статической прочности массы К-6 от температуры (а) и удельного давления (б) прессования.

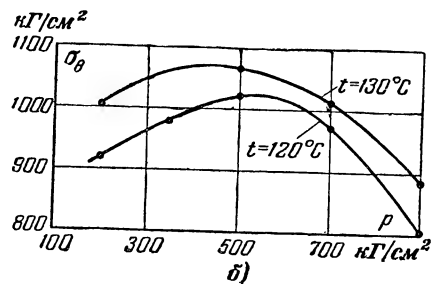
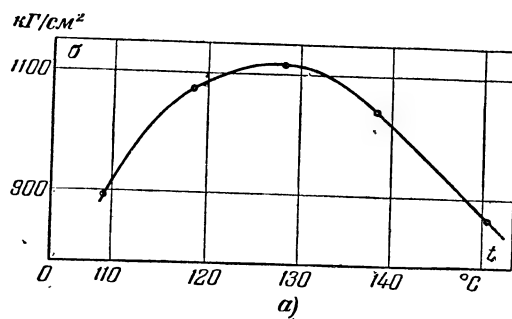


Рис. 43. Зависимость кратковременной статической прочности экструдированного стеклопластика АГ-4С от температуры (а) и удельного давления (б) прессования.

товления коллекторов на пластмассе, для получения высоких показателей по прочности необходимо возможно точнее выдерживать эти режимы.

Необходимо отметить, что предварительное подогревание перед прессованием материала токами высокой частоты резко увеличивает прочность материала, но мало меняет качественную картину зависимости предела кратковременной статической прочности от параметров прессования (рис. 44).

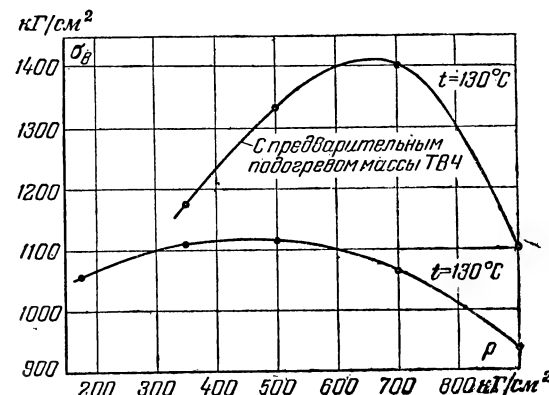


Рис. 44. Сравнительная прочность стеклопластика АГ-4 в зависимости от способа подогревания материала перед прессованием.

Для случая, когда масса АГ-4С применяется в виде лент, необходимо правильно выбрать длину нарезки материала. Это существенно не только для обеспечения нужной прочности пластмассового корпуса, но и для определения технологических режимов переработки этой массы в изделия сложной формы, поскольку увеличение длины отрезков ленты влечет за собой уменьшение текучести, что приводит к худшему заполнению пресс-формы. Эксперименты показали, что длина отрезков оказывает влияние на кратковременную статическую прочность только до определенного предела (рис. 45); при длине их свыше 30—40 мм длина стекловолокна практически перестает оказывать влияние на механическую прочность стандартных образцов.

Технологический процесс изготовления деталей из пластмасс оказывает влияние и на диэлектрические свойства материалов. Данные о влиянии параметров прессо-

вания на диэлектрическую прочность массы К-6 отсутствуют. Известно, что эти свойства во многом определяются (для массы К-6) последующей термической обработкой. По данным [Л. 14] теплофизические свойства стеклопластика АГ-4 незначительно зависят от способа переработки. Установлено, что электрические характеристики пластмасс в изделиях в значительной степени за-

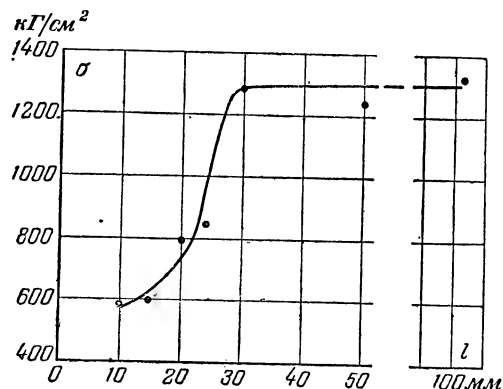


Рис. 45. Зависимость кратковременной статической прочности стеклопластика АГ-4С от длины нарезки волокна.

висят от режимов прессования, особенно в тех случаях, когда исходный материал имеет повышенную влажность (содержание летучих веществ более 35%). При повышенном содержании летучих в массе для улучшения электрических характеристик изделий применяются подпрессовки. На рис. 46 показано изменение диэлектрических характеристик в зависимости от удельного давления прессования.

На свойства пресскомпозиций К-6 и АГ-4 большое влияние оказывает степень полимеризации смолы. Для получения качественных изделий необходимо, чтобы условия прессования и последующей термообработки обеспечивали полную полимеризацию связующего вещества. Следует заметить, что при повышении степени полимеризации увеличивается не только механическая прочность, но и электроизоляционные свойства и влагостойкость пластмасс.

Во время выдержки изделия в пресс-форме обычно не удается добиться полной полимеризации смолы (осо-

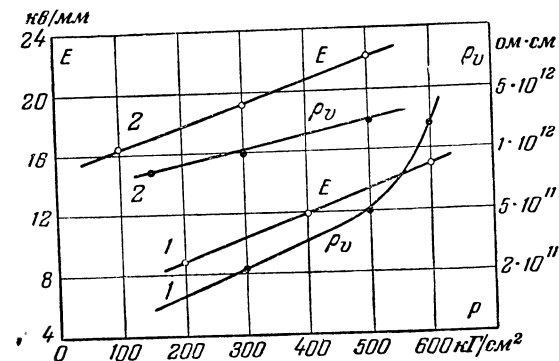


Рис. 46. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления и электрической прочности стеклопластика АГ-4 от удельного давления прессования.

1 — без подпрессовки; 2 — с подпрессовкой

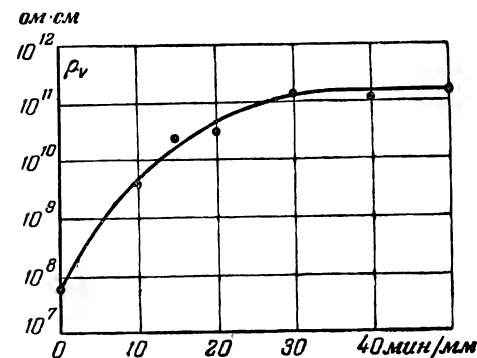


Рис. 47. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления массы К-6 от времени термообработки.

бенно при массе К-6). Поэтому после опрессовки пластмассой коллектор подвергается термообработке¹, кото-

¹ Термообработка, по-видимому, способствует также снижению внутренних напряжений, образующихся в процессе прессования пластмассового корпуса вследствие усадки массы. Однако для количественной оценки этого эффекта отсутствуют опытные данные.

рая особо существенное влияние оказывает на диэлектрические свойства и прочность массы К-6. На рис. 47 показано изменение удельного сопротивления образцов из массы К-6 в зависимости от времени термообработки и толщины образца.

15. ХРАНЕНИЕ И ПОДГОТОВКА ПРЕССМАТЕРИАЛА

а) Хранение

Прочностные и диэлектрические характеристики готовых коллекторов на пластмассе во многом зависят также от условий хранения прессматериала и способа подготовки массы к использованию. При хранении К-6 и АГ-4 должны соблюдаться следующие основные правила:

1. Прессматериал должен быть защищен от попадания посторонних примесей, особенно металлической пыли.

2. Прессматериал необходимо предохранять от влаги, присутствие которой приводит к повышенной усадке, образованию вздутий на корпусе коллектора и повышенному отжиму смолы при прессовании в труднозаполняемые части пресс-формы.

3. Длительно храниться материал должен при температуре не выше 25°С. Повышение температуры при хранении материала ухудшает текучесть. При нормальной температуре прессматериалы К-6 и АГ-4 сохраняются до 6 мес. без заметного ухудшения их свойств; при температуре, близкой к нулю, срок хранения удлиняется.

Эти правила выполняются при хранении прессматериалов в оцинкованной или луженой таре с герметически запирающейся крышкой в сухом и неотапливаемом складском помещении. Крышки делают откидными с винтовыми или, что более удобно, с кулачковыми зажимами. Для хранения материалов можно применять также мешки из водонепроницаемой бумаги, полихлорвиниловой пленки или прорезиненной ткани. Если прессматериал хранился при нулевой температуре, его перед употреблением надо, не вскрывая тары, выдержать в цеховых условиях до выравнивания температуры (иначе материал увлажнится). На складе необходимо установить строгую очередность расходования получаемых партий прессматериалов, исходя из сроков изготовления их поставщиком, а не из сроков поступления на склад.

б) Подготовка

В тех случаях, когда для корпуса коллектора так называемая «навеска» массы превышает 2 кг, особенно необходима предварительная подготовка прессматериала с целью придания ему состояния, удобного для заполнения загрузочной камеры пресс-формы и для того, чтобы обеспечить лучшую текучесть массы при прессовании.

При изготовлении коллекторов на пластмассе применяются следующие способы подготовки массы: таблетирование, экструдирование, экструдирование с последующим таблетированием, жгутирование.

При таблетировании материал перерабатывается в компактные таблетки простой формы, которая определяется конструкцией коллектора и пресс-формы для его изготовления. В зависимости от конфигурации загрузочной камеры пресс-формы таблетки выполняются в виде сплошного или полого цилиндра. Для мелких и средних коллекторов применяются обычно таблетки, имеющие форму сплошного цилиндра, для крупных коллекторов — таблетки в виде полого цилиндра.

Таблетировуются массы К-6 и АГ-4 в таблетировочных пресс-формах; пресспорошки — на стандартном автоматическом оборудовании с максимальным диаметром таблетки 50—60 мм [Л. 19].

Пресс-формы для изготовления таблеток показаны на рис. 48. Они состоят из двух основных частей: нижней и верхней.

Нижняя часть пресс-формы для кольцевых таблеток (рис. 48,б), в которой находится матрица 8, укрепляется на столе пресса при помощи шайбы 3. Матрица связана с плитой колонками 5. В нижней части матрицы имеются промежуточные кольца 7 и 8—12 отверстий для стержней 6, равномерно расположенных по окружности. Эти стержни связаны с выталкивателем 1 плитой 4, которая движется по направляющим колонкам 2. Верхняя часть пресс-формы представляет собой кольцевой пуансон 9 с плитой 10, которая прикрепляется к верхней плите пресса. Пунктирными линиями показаны поверхности обогривания пресс-формы.

Пресс-форма для таблеток, имеющих форму сплошного цилиндра (рис. 48,а), отличается более простой конструкцией выталкивателя.

Перед загрузкой в таблетировочные пресс-формы массы К-6 и АГ-4 для уменьшения повреждений волокон наполнителя и облегчения загрузки слегка подогреваются.

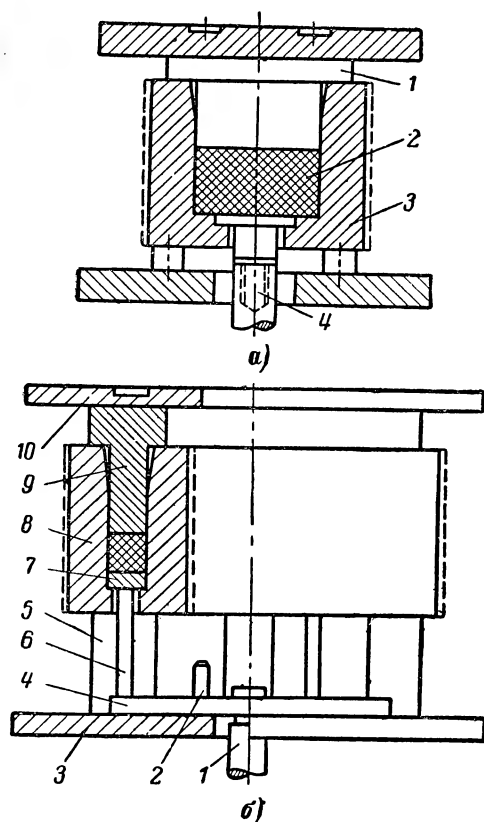


Рис. 48. Таблетировочные пресс-формы.
а — для цилиндрических таблеток: 1 — пуансон;
2 — таблетка; 3 — матрица; 4 — выталкиватель;
б — для кольцевых таблеток.

Таблица 26

Марка массы	Режимы таблетирования		
	Температура пресс-формы, °С	Удельное давление прессования, кг/см²	Выдержка под давлением, мин
К-6	60—80	150—200	5—10
АГ-4	50—60	100	5—10

Рекомендуемые режимы прессования таблеток приведены в табл. 26.

Экструдирование заключается в продавливании массы через специальную форму с отверстием диаметром 8—25 мм. Экструдированная масса легче поддается таблетированию.

В условиях массового производства эти процессы могут быть объединены.

Экструдер простой конструкции показан на рис. 49. Его верхняя плита 1 скреплена с пуансоном 2; матрица 3 колонками 4 соединена с нижней плитой 5. Нижней части камеры матрицы придана выпукло-вогнутая форма направляющей поверхности, которая плавно переходит в калибрующее отверстие. Подобная форма направляющей поверхности облегчает прохождение массы. При других формах направляющей поверхности (например, при вогнутой) создаются значительные опорные реакции, препятствующие продавливанию массы через экструдер.

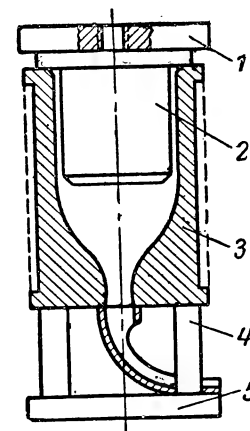


Рис. 49. Экструдер.

Известны более сложные экструдеры со шнековой подачей массы к калибрующему отверстию. Подобные конструкции использует, например, завод «Электромашина» (Прокопьевск). В процессе экструдирования при шнековой подаче материала развиваются высокие температуры в рабочей зоне экструдера, которые могут привести к частичной полимеризации связующего вещества. Для устранения перегрева применяется принудительное охлаждение корпуса экструдера.

Технология экструдирования проста: масса закладывается в камеру матрицы и продавливается через отверстие при удельном давлении, превышающем 500 кг/см². Поперечное сечение жгута экструдированной массы зависит от формы и размеров калибрующего отверстия. После экструдирования масса приобретает повышенную текучесть и лучше заполняет пресс-форму, сохраняя при этом достаточно высокую прочность (табл. 20).

При жгутировании несколько ориентированных непрерывных лент свиваются в жгут заданных длины и

диаметра (рис. 50). Число свиваемых лент подбирается в зависимости от нужного диаметра жгута. После свивания жгуты разрезаются на куски заданной длины. Диаметр и длина кусков жгута выбираются в зависимости от ширины загрузочной камеры пресс-формы и диаметра коллектора. Диаметр жгута должен быть на 2—3 мм меньше ширины загрузочной камеры пресс-формы. Рекомендуемая длина жгута $L_{ж} = (1,2 \div 1,4) \pi D_{п}$, где $D_{п}$ — диаметр загрузочной камеры пресс-формы.

Массы К-6 и АГ-4В можно и таблетировать и экструдировать. Необходимо отметить, что неэкструдирован-

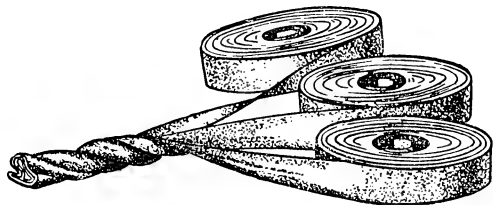


Рис. 50. Жгутированный материал АГ-4С.

ная масса АГ-4В практически не может быть применена при изготовлении коллекторов, причем и таблетирование неэкструдированной массы АГ-4В крайне затруднено. При переработке в изделия массы АГ-4С применимы все указанные выше способы подготовки прессматериалов. Таблетирование неэкструдированной массы АГ-4С требует предварительной разрезки лент на отрезки заданной длины. Это может быть выполнено ручным способом или на механических ножницах. Простая и высокопроизводительная конструкция таких ножниц описана в [Л. 25].

Предварительная подготовка прессматериала улучшает качество коллекторов на пластмассе. Она позволяет значительно улучшить условия хранения массы в связи с уменьшением возможности испарения летучей части связующего вещества. Сокращаются размеры пресс-форм по высоте, поскольку при этом уменьшается загрузочное пространство. Сокращается время загрузки материала в пресс-форму, в связи с чем улучшаются условия полимеризации. Возможность образования взду-

тий в опрессованной детали уменьшается из-за меньшего содержания в прессматериале воздуха и влаги. Облегчается предварительное подогревание материала перед прессованием и возникает возможность использования для этого токов высокой частоты.

По мере увеличения серийности выпуска коллекторов на пластмассе массы К-6 и АГ-4 могут поступать с заводов-поставщиков в таблетированном виде при определенных форме и размерах таблеток.

Опыт завода РЭЗ (Рига) позволяет провести сравнительную оценку описанных выше способов подготовки массы к прессованию. Для коллекторов малых диаметров применяется обычно таблетированная масса, для средних и крупных коллекторов — экструдированная, таблетированная и жгутированная. Хорошие результаты с точки зрения однородности структуры изделия, улучшения условий прессования и получения более монолитного корпуса дает применение экструдированной массы. Особенно это важно для коллекторов, у которых пластмасса является единственным несущим элементом конструкции. При использовании экструдированной массы процесс прессования становится более стабильным. Более стабильной становится и прочность коллекторов.

Преимущества жгутирования заключаются в меньшей трудоемкости подготовки массы, уменьшении объема навески массы, сокращении времени загрузки массы в пресс-формы, особенно при коллекторах больших диаметров. Недостатки заключаются в трудности получения изотропности свойств, ухудшении текучести, отжимании связующего вещества в труднозаполнимые участки пресс-формы.

Жгутирование массы целесообразно применять при изготовлении армированных коллекторов больших диаметров и при слишком большом объеме навески экструдированной массы.

Таблетирование массы всегда повышает культуру производства, создает стабильный технологический процесс и улучшает качество коллекторов. Оно может быть рекомендовано как основной способ подготовки массы при изготовлении коллекторов всех типоразмеров.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

16. НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОЛЛЕКТОРА

Необходимым условием, предъявляемым к коллекторам электрических машин, является надежное удержание изоляции между пластинами коллектора, не позволяющее изоляционным прокладкам (или их отдельным чешуйкам) выступать наружу при всех режимах работы машины. У коллекторов с обычными металлическими корпусами изоляция удерживается силами арочного распора¹. Монолитность коллекторов на пластмассе обеспечивается несущим пластмассовым корпусом и силами арочного распора. Несущий пластмассовый корпус должен воспринимать центробежные силы от вращающихся медных пластин, изоляции и самой пластмассы, сохраняя при этом заданное удельное давление между пластинами. Поэтому нагрузки, передаваемые несущей части коллектора, определяются не только центробежными силами, но и силами арочного распора.

Центробежные силы легко поддаются учету и не связаны с особенностями конструкции коллекторов на пластмассе; к арочному распору предъявляются специфические требования. Если для коллекторов с металлическими корпусами и миканитовой изоляцией пакета пластин от корпуса для обеспечения эксплуатационной надежности стремятся к возможно большему значению арочного распора, то для коллекторов на пластмассе надо стремиться к минимально допустимому значению последнего. Это обусловлено тем, что силы арочного распора имеют существенное, а иногда и решающее значение в общем балансе нагрузок на корпус. Поэтому правильный выбор удельного давления между пластинами крайне важен для обеспечения максимальной несущей способности корпуса и надежной работы коллектора. В то же время даже для обычных коллекторов с металлическими корпусами отсутствует обоснованная тео-

рия арочного распора [Л. 6]. Выбор и обеспечение заданного удельного давления между пластинами представляют собой сложную механическую задачу, которая для коллекторов на пластмассе еще более усложняется рядом дополнительных обстоятельств.

В зависимости от того, как образован пакет коллектора (из цельной заготовки или отдельных профильных пластин), коллекторы на пластмассе по отношению к арочному распору можно разделить на две группы. Первая группа представляет собой коллекторы, у которых пластины образуются разделением цельной заготовки, а изоляцией между коллекторными пластинами служит пластмасса. Для таких коллекторов в арочном распоре нет необходимости ни в процессе их изготовления, ни во время эксплуатации.

Вторая группа охватывает конструкции, пакет которых собран из отдельных профильных пластин и изоляционных прокладок. У коллекторов с пластинами, имеющими трапецидальный профиль поперечного сечения, эти прокладки, как и пластины, имеют крепежные выступы, заделанные в пластмассу; для коллекторов с пластинами профиля 3, 4, 5, 6, 7, 10 прокладки удерживаются в основном силами трения по боковым поверхностям.

Несмотря на то, что часть конструкций второй группы имеет изоляционные прокладки, заделанные опорными выступами в пластмассовый корпус, правильнее полагать, учитывая возможное расслоение материала прокладок, что монолитность коллекторов этой группы обеспечивается упругостью пластмассового корпуса и силами арочного распора. Для коллекторов на пластмассе с пакетом из профильных пластин необходимо регламентировать и создавать арочный распор, величина которого должна обеспечивать не только монолитность коллекторов в эксплуатации, но и возможность прессования пластмассового корпуса¹.

Как и у других арочных коллекторов из отдельных профильных пластин, начальный арочный распор у коллекторов на пластмассе создается при опрессовке паке-

¹ Под арочным распором понимается суммарная сила взаимного давления соседних пластин.

¹ При изготовлении коллекторов на пластмассе величина арочного распора должна быть достаточной для того, чтобы предотвратить возможность смещения коллекторных пластин и изоляционных прокладок во время прессования.

та из медных пластин и изоляционных прокладок в сборочном кольце (рис. 51). В этом же кольце выполняются процессы прессования и термообработки пластмассы, режимы которых зависят от марки пластмассы и размеров коллектора.

Во время прессования и термообработки пластмассового корпуса под действием тепла, усилий начального арочного распора и температурного расширения медных пластин происходит дополнительная опрессовка пакета, при которой излишки смол выдавливаются из изоляционных прокладок¹. Это приводит к ослаблению пакета, а следовательно, и к уменьшению первоначально заданного арочного распора. Необходимо отметить, что стабилизация процесса осложняется неопределенностью упругих свойств изоляционных прокладок. Так, модуль упругости коллекторного миканита (рис. 52) существенно зависит от температуры и удельного давления.

Рис. 51. Опрессовка пакета медь — миканит в сборочном кольце с разрезными коническими плашками. 1 — пакет коллектора; 2 — плашки; 3 — сборочное кольцо.

После термообработки коллектора сборочное кольцо снимается; при этом происходит дальнейшее падение арочного распора из-за неизбежной податливости несущей части корпуса.

Специфика силообразования при сборке коллектора на пластмассе состоит в том, что арочный распор после изготовления коллектора существенно отличается от первоначально заданного. При этом у коллекторов на пластмассе в отличие от коллекторов с металлическими корпусами невозможно регулировать величину арочного

¹ Усилие прессования оказывает несущественное влияние на арочный распор и почти полностью воспринимается сборочным кольцом. Падение арочного распора

$$\Delta p_0 = (0,010 - 0,015) q_0,$$

где q_0 — давление прессования, обычно равное 200—500 кг/см^2 .

Ясно, что таким падением арочного распора можно пренебречь.

распора после завершения процесса сборки коллектора.

При эксплуатации коллектора величина удельного давления между пластинами падает еще больше из-за радиальной деформации корпуса под действием центростремительных сил при вращении коллектора. Процесс последовательного падения арочного распора подробно исследован в [Л. 33]; данные [Л. 33] использованы далее при рассмотрении вопроса о величине арочного распора. Очевидно, что давление между пластинами, которое имеется в коллекторе после завершения процесса изготовления, определяет необходимый арочный распор, а давление, которое имеется между пластинами коллектора, вращающегося с максимальной скоростью, является тем наименьшим давлением, ниже которого возможны нарушения монолитности пакета и смещение изоляционных прокладок.

17. АРОЧНЫЙ РАСПОР

Удельное давление между пластинами, определяющее арочный распор у современных конструкций коллекторов с металлическими корпусами колеблется от 100 до 800 кг/см^2 . В практике конструирования существует ряд рекомендаций по назначению арочного распора у коллекторов с металлическими корпусами. По данным [Л. 2] рекомендуется подсчитывать удельное давление между пластинами p_0 по эмпирической формуле

$$p_0 = 60 + 5 \left(\frac{n_{\text{макс}}}{1000} \cdot \frac{D_k}{10} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ кг/см}^2, \quad (14)$$

где $n_{\text{макс}}$ — максимальная скорость вращения, об/мин;

D_k — диаметр рабочей поверхности коллектора, см.

Повышенные требования к эксплуатационной надежности авиационных электрических машин и отсутствие

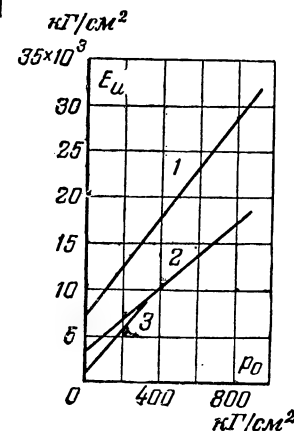


Рис. 52. Зависимость модуля упругости коллекторного миканита от температуры и удельного давления по данным разных заводов [Л. 20].

1 — завод «Электросила» (100° С); 2 — ХЭМЗ (120° С); 3 — фирма Вестингауз (150° С).

обоснованной теории арочного распора заставляют регламентировать предельный арочный распор, исходя из допустимого напряжения на изгиб средней части пластины или наихудших температурных условий.

Из условия прочности пластин в [Л. 6] получена следующая формула для приближенного определения удельного давления:

$$p_0 = \frac{RH\Theta}{F} \left[\frac{4}{3} \frac{H}{l} \sigma_{\max} - 0,1Rl \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \right] \text{ кг/см}^2, \quad (15)$$

где Θ — коэффициент заполнения коллектора медью;

R — радиус инерции коллекторной пластины;

H — высота пластины;

F — площадь боковой поверхности пластины;

l — длина рабочей части пластины;

$\sigma_{\max}$ — допускаемые напряжения для меди.

Из условий удержания изоляционной пластины при отрицательной температуре и действии центробежных сил, вводя ряд опытных коэффициентов, можно получить [Л. 6]:

$$p_0 = (12,5 - 6,0) \Delta t \text{ кг/см}^2, \quad (16)$$

где Δt — разность температур, °С (при начальной температуре $t_0 = 20^\circ\text{С}$).

Следует отметить, что завышенные удельные давления приводят к повышению напряжений во всех частях коллектора, что в свою очередь утяжеляет конструкцию и повышает ее стоимость.

Исходя из условиях сохранения монолитности коллектора под действием центробежных сил при минусовой температуре, в [Л. 5] рекомендовано подсчитывать удельное давление между пластинами для коллекторов быстроходных электрических машин по формуле

$$p_0 = \frac{\Delta t \left[\alpha \left(\Theta + \frac{\text{tg } \Psi}{2} \right) + \alpha_n N - \alpha_{\text{ст}} \left(1 + \frac{\text{tg } \Psi}{2} \right) \right]}{\frac{\Theta}{E} + \frac{N}{E_n}} k_1 k_2, \quad (17)$$

где α — температурный коэффициент линейного расширения меди;

α_n — температурный коэффициент линейного расширения изоляции;

$\alpha_{\text{ст}}$ — температурный коэффициент линейного расширения стали;

Ψ — угол ласточкина хвоста коллекторной пластины;

N — коэффициент заполнения коллектора изоляцией; коэффициентами k_1 и k_2 учитывается соответственно падение арочного распора при вращении коллектора (k_1) и после снятия бандажного кольца вследствие податливости несущих элементов конструкции (k_2).

Учитывая, что коэффициент линейного расширения изоляции близок к коэффициенту линейного расширения стали и $N = 1 - \Theta$, можно существенно упростить выражение (17):

$$p_0 = \frac{\Delta t (\alpha - \alpha_{\text{ст}}) \left(\Theta + \frac{\text{tg } \Psi}{2} \right)}{\frac{\Theta}{E} + \frac{1 - \Theta}{E_n}} k_1 k_2. \quad (18)$$

Формулы (14), (15) и (16) обусловлены особенностями конструкции коллекторов с металлическим корпусом. Специальными исследованиями, результаты которых приведены в [Л. 33], показано, что использование формул (14), а тем более (15) и (16) при проектировании коллекторов на пластмассе, как правило, неприемлемо, так как ведет к недопустимому и необоснованному завышению действующих нагрузок. Использование выражения (18) также требует нового решения задачи с учетом особенности коллекторов на пластмассе.

Для коллекторов на пластмассе, у которых цилиндрическую форму рабочей поверхности обеспечивает монолитный пластмассовый корпус, а арочный распор служит только для удерживания изоляции, необходимо стремиться к минимальному арочному распору. Величина последнего определяется в этом случае не только свойствами по прочности, но и технологическими соображениями. Удельное давление между пластинами должно быть достаточным для того, чтобы не произошло перекоса пластин в процессе прессования пластмассы. Поэтому для коллекторов на пластмассе диаметром до 90 мм рекомендуется арочный распор не подсчитывать, а принимать равным 100 кг/см². Эта величина является оптимальной с точки зрения прочности коллекторов и

стабильности технологического процесса их изготовления.

Для коллекторов на пластмассе средних и больших диаметров, при проектировании которых необходимо более точно учитывать действующие нагрузки, величина удельного давления находится из условия сохранения монолитности конструкции (с учетом падения удельного давления из-за податливости несущего пластмассового корпуса) при вращении коллектора в наихудших эксплуатационных условиях [Л. 33 и 37]:

$$p_0 = \left\{ \frac{t_{\text{и}} \gamma_{\text{и}}}{2f} + \frac{1}{1-\theta} [F_{\text{пл}} \gamma_{\text{пл}} + F \gamma \theta + \right. \\ \left. + F \gamma_{\text{и}} (1-\theta)] \frac{R E_{\text{и}}}{F_{\text{пр}} E_{\text{пл}}} \right\} \frac{R \omega_{\text{р}}^2}{g}. \quad (19)^*$$

В выражении (19)

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{пл}} + 2 \frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{пл}}} F_{\text{ст}}$$

γ — удельный вес меди, кг/см^3 ;
 $\gamma_{\text{и}}$ — удельный вес изоляции, кг/см^3 ;
 $\gamma_{\text{пл}}$ — удельный вес пластмассы, кг/см^3 ;
 $F_{\text{ст}}$ — площадь поперечного сечения пластмассового кольца с учетом стальной армировки, см^2 ;
 $F_{\text{пл}}$ — площадь поперечного сечения пластмассового корпуса, см^2 ;
 R — радиус инерции медной пластины, см ;
 $E_{\text{ст}}$ — модуль упругости стали, кг/см^2 ;
 $E_{\text{и}}$ — модуль упругости изоляции, кг/см^2 ;
 $E_{\text{пл}}$ — модуль упругости пластмассы, кг/см^2 ;
 t — средняя толщина рабочей части медной пластины, см ;

* Выражение (19) выведено для случая, когда изгибом коллекторной пластины при вращении коллектора можно пренебречь, т. е. для пластин с короткими перешейками. Если этим изгибом пренебречь нельзя, то необходим учет дополнительного падения арочного распора. Для вычисления прогиба набор пластин можно рассматривать как сплошной упругий цилиндр; радиальные деформации пластин описываются дифференциальными уравнениями изгиба балки на упругом основании [Л. 15 и 20].

$t_{\text{и}}$ — толщина изоляционной прокладки, см ;
 θ — коэффициент заполнения коллектора медью;
 f — минимальное значение коэффициента трения меди по миканиту;
 $\omega_{\text{р}}$ — расчетная угловая скорость вращения коллектора.

Как будет показано дальше, из-за близости коэффициентов линейного температурного расширения меди и пластмассы, особенно АГ-4С, влиянием температуры в процессе эксплуатации на величину арочного распора можно пренебречь.

Выражение (19) может быть существенно упрощено без большого ущерба для точности. Первый член этого выражения представляет собой минимальную величину удельного давления между пластинами $p_{\text{мин}}$, ниже которой нарушается монолитность конструкции, и находится на основе предположения, что изоляционная прокладка удерживается между медными пластинами исключительно силами трения по боковым поверхностям. Коэффициент трения слюдяных чешуек между собой предполагается большим, чем минимальное значение коэффициента трения меди по миканиту; тем самым, если обеспечены необходимые силы трения по боковой поверхности изоляционной прокладки, считается обеспеченной и ее монолитность:

$$p_{\text{мин}} = \frac{t_{\text{и}} \gamma_{\text{и}}}{2f} \frac{R \omega_{\text{р}}^2}{g}. \quad (20)$$

Подставив численные значения $\gamma_{\text{и}}$, g и f , получим:

$$p_{\text{мин}} = 2 \cdot 10^{-5} t_{\text{и}} R \omega_{\text{р}}^2. \quad (21)$$

На рис. 53 показана зависимость минимального удельного давления между пластинами от диаметра коллектора и испытательной скорости вращения, найденная по формуле (21) (при построении графика принято, что толщина изоляционной прокладки $t_{\text{и}} = 1 \text{ мм}$). Как видно из графика, величина давления, равная 20 кг/см^2 , является вполне достаточной для удержания изоляционной

прокладки у всех существующих конструкций коллекторов на пластмассе. Эта величина и взята за основу при регламентировании величины арочного распора.

Во втором члене, учитывающем податливость пластмассового корпуса под действием центробежных сил,

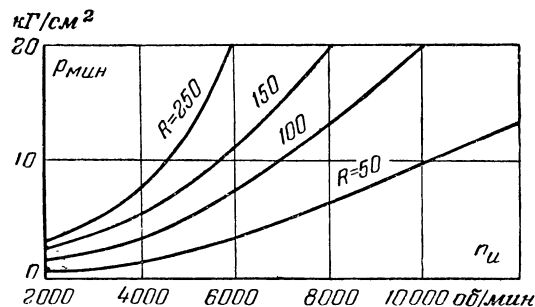


Рис. 53. Минимальная величина удельного давления между пластинами коллектора, необходимая для удержания изоляционной прокладки.

основную роль играют силы инерции меди; действие инерционных сил пластмассы и изоляции может быть учтено коэффициентом, равным 1,20—1,25. Выражение, учитывающее падение арочного распора p'_0 , принимает вид:

$$p'_0 = 1,25 \frac{\Theta}{1-\Theta} \frac{\gamma}{g} \frac{FE_{\pi}}{F_{\pi p} E_{\pi \pi}} v_p^2. \quad (22)$$

Здесь

$$v_p = \omega_p R_K,$$

где ω_p — расчетная угловая скорость; введение в расчет ω_p обеспечивает надежность удержания изоляции с запасом, равным запасу прочности коллектора.

Подставив численные значения γ и g , получим:

$$p'_0 = \frac{\Theta}{1-\Theta} \frac{FE_{\pi}}{F_{\pi p} E_{\pi \pi}} v_p^2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/см}^2. \quad (23)$$

При проектировании коллектора, когда еще неизвестны площади несущего пластмассового корпуса и коллекторной пластины, можно задаваться отношением $\frac{F}{F_{\pi p}}$.

Как показывает анализ существующих конструкций, площадь поперечного сечения несущего пластмассового корпуса, как правило, в 1—2 раза больше площади мед-

ной пластины. Рекомендуемые соотношения этих площадей в зависимости от испытательной скорости вращения коллектора приводятся в табл. 27а и 27б.

Таблица 27а

Масса К-6				
$v_p, \text{ м/сек}$	20	30	40	50
$F/F_{\pi p}$	1	0,90	0,85	0,80

Таблица 27б

Масса АГ-4								
$v_p, \text{ м/сек}$	30	40	50	60	70	80	90	100
$F/F_{\pi p}$	1	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,50

Выбрав марки пластмассы и изоляции между пластинами, можно подсчитать отношение $\frac{E_{\pi}}{E_{\pi \pi}}$ и построить графики, дающие зависимость арочного распора от испытательной скорости вращения и коэффициента заполнения коллектора медью. Графики для выбора удельного давления между пластинами приведены на рис. 54 для масс К-6 (а) и АГ-4 (б). Пользуясь этими графиками и учитывая минимальный арочный распор, равный 20 кг/см^2 , можно при проектировании коллектора подобрать величину удельного давления между пластинами, зная диаметр коллектора, окружную испытательную скорость вращения, коэффициент заполнения коллектора медью и принятые для коллектора материалы.

С учетом упрощений удельное давление между пластинами, определяющее арочный распор, для коллекторов на пластмассе рекомендуется подсчитывать по формуле

$$p_0 = 20 + \frac{\Theta}{1-\Theta} \frac{FE_{\pi}}{F_{\pi p} E_{\pi \pi}} v_p^2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/см}^2. \quad (24)$$

Если полученное при расчете удельное давление меньше 100 кг/см^2 , то из технологических соображений следует принимать $p_0 = 100 \text{ кг/см}^2$.

При проектировании коллектора на пластмассе необходимо не только правильно выбрать величину арочного распора, но и правильно суммировать нагрузки, действующие на пластмассу. Усилия, передаваемые медными пластинами несущему пластмассовому корпусу, состоят из центробежных сил и распределенной нагрузки, обусловленной арочным распором. Радиальная составляющая сил арочного распора убывает при вращении коллектора вследствие податливости несущих частей конструкции. Это должно быть учтено при суммировании нагрузок.

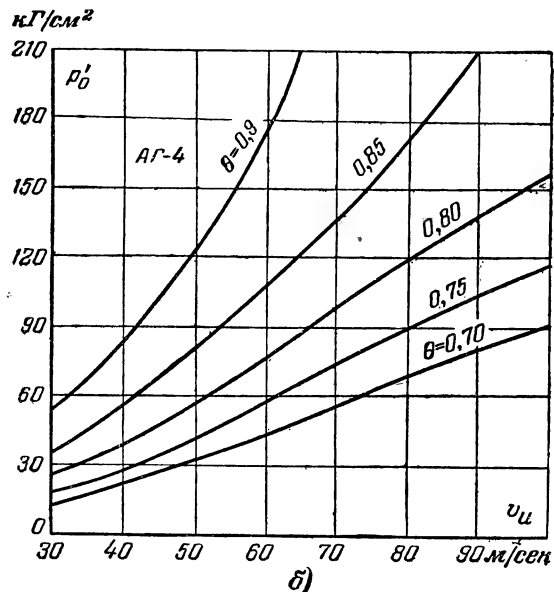
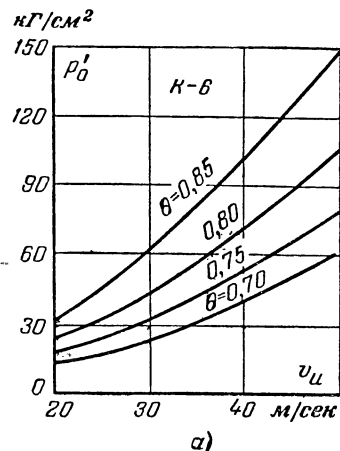


Рис. 54. Падение удельного давления при вращении коллектора.

а — при массе К-6; б — при массе АГ-4.

Суммарная нагрузка, действующая на пластмассовый корпус, подсчитывается по формуле

$$q = \left[p_0 + \left(1 - 2,5 \frac{1}{1 - \theta} \frac{FE_{\text{н}}}{F_{\text{пр}} E_{\text{пл}}} \right) \frac{\gamma}{2g} \theta v_{\text{макс}}^2 \right] \frac{F}{R}, \quad (25)$$

где $v_{\text{макс}}$ — максимальная эксплуатационная окружная скорость вращения коллектора.

При выводе формулы (25) полагалось, что силы, передаваемые пластмассе, равномерно распределены по окружности коллектора. Поэтому q — нагрузка, приходящаяся на единицу длины окружности пластмассового корпуса.

18. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ

Прежде чем перейти к расчету прочности коллектора на пластмассе, необходимо предварительно выбрать наиболее рациональную конструкцию. На этот выбор влияет ряд факторов. Это в первую очередь окружные скорости, определяющие нагрузки, которые возникают в условиях эксплуатации, диаметр рабочей поверхности коллектора и серийность производства. В зависимости от этих основных факторов выбирается тип коллектора с несущим пластмассовым корпусом или несущим армированным пластмассовым корпусом. В условиях массового и серийного производства рекомендуется изготавливать коллекторы с несущими пластмассовыми корпусами: армированными и неармированными. Коллекторы на пластмассе с металлическим корпусом рекомендуется применять только в мелкосерийном и индивидуальном производстве, когда в короткий срок не окупаются затраты на оборудование и сложные пресс-формы.

Предварительный выбор типа коллектора с несущим пластмассовым корпусом облегчается при использовании графика (рис. 55), где в зависимости от диаметра рабочей поверхности и окружной скорости и в соответствии с классификацией выделены приближенные границы трех больших групп коллекторов с пластмассовыми корпусами. К первой группе отнесены коллекторы, пакет которых образован разделением цельной заготовки. Вторая и третья группы имеют пакеты, набираемые из отдельных профильных пластин. Ко второй группе отнесены коллекторы с несущими пластмассовыми кор-

пусами, к третьей — с несущими армированными корпусами¹.

Следует иметь в виду, что окончательно выбрать конструкцию коллектора можно только после того, когда бу-

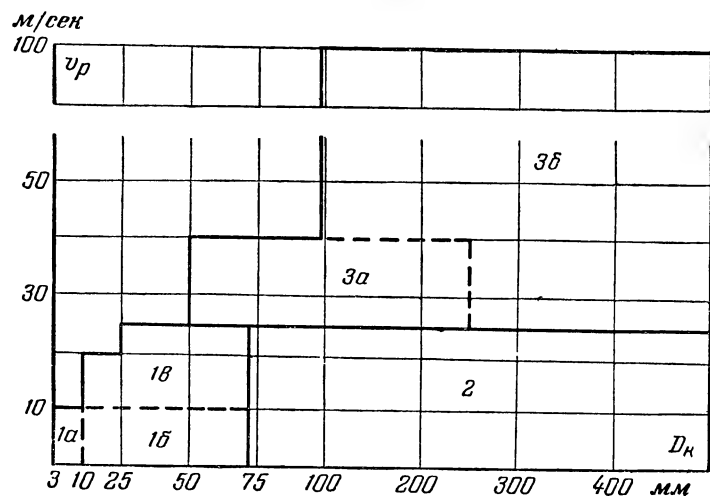


Рис. 55. Границы применения для различных групп коллекторов с пластмассовыми корпусами.

дут рассчитаны размеры пластин и механическая прочность коллектора. Это в особенности относится к коллекторам третьей группы.

В свою очередь первая группа разделена на три подгруппы: а, б и в. Первая подгруппа (1а) — это коллекторы диаметром от 3 до 10 мм, работающие при окружной скорости менее 10 м/сек, с корпусом из пластмассы, на который коллекторные пластины наращиваются гальваническим путем.

Вторая и третья подгруппы охватывают диаметры от 10 до 70 мм, поскольку в настоящее время уже имеется оборудование, мощность и габариты которого позволяют изготавливать коллекторы из цельной кольцевой заготовки диаметром до 70 мм, хотя до сих пор в отечественной и зарубежной практике изготовление таких коллекторов ограничивалось диаметром 35—40 мм.

Корпуса коллекторов второй подгруппы прессуются из порошков; поэтому предельные рабочие окружные скорости для коллекторов

этой подгруппы не должны превышать 10 м/сек. Третью подгруппу коллекторов, корпуса которых прессуются из пластмасс с волокнистыми наполнителями, рекомендуется применять в интервале окружных скоростей от 10 до 25 м/сек. Наиболее выгодными для этих коллекторов являются конструкции пластин 16—6, 16—7, а также 16—8 и 16—9. Выбор одного из многочисленных методов изготовления коллекторов с цельной заготовкой пакета пластин и способов получения этих заготовок должен для конкретных случаев определяться сравнительными технико-экономическими расчетами, а также наличием или возможностью приобретения соответствующего оборудования.

Вторая группа охватывает коллекторы диаметром от 70 до 500 мм, работающие при окружной скорости до 25 м/сек, с пластмассовым корпусом без армирования. В силу последнего обстоятельства в коллекторах этой группы наиболее выгодно с точки зрения расхода меди применять конструкцию пластин 16—6 или 18—6 (для не очень значительной толщины пластин). При тонких пластинах лучше применять многократные опорные выступы. Несколько расширяют возможность применения этой группы конструкций использование ступенчато-угловых профилей поперечного сечения пластин, а также применение вырезов в крепежных выступах.

Третья группа состоит из двух подгрупп: а и б. Коллекторы подгруппы 3а имеют несущие пластмассовые корпуса, усиленные армировочными кольцами. Эти коллекторы диаметром от 50 до 250 мм, работающие при окружных скоростях от 25 до 40 м/сек. В таких коллекторах целесообразно применять конструкции пластин 2—1, 8—1, 12—1, в наружные вырезы которых помещаются армировочные кольца. Область применения этой группы конструкций также может быть расширена заменой трапециoidalного профиля поперечного сечения ступенчато-угловыми профилями.

Подгруппа 3б охватывает коллекторы с несущими пластмассовыми корпусами и армирующими узлами. На рис. 55 их диаметр ограничен величиной 500 мм только потому, что в практике еще не осуществлены коллекторы большего диаметра. Применение армирующих узлов дает возможность изготавливать коллекторы на пластмассе значительно большего диаметра, по крайней мере до 1000 мм. Скорость, равная 100 м/сек, принята как максимальная, встречающаяся в конструкциях электрических машин, ограничиваемая пока еще существенными трудностями обеспечения работоспособности других узлов машин.

19. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ

а) Исходные данные для расчета

Проектировочный расчет прочности коллекторов на пластмассе сводится к определению размеров крепежной части медной пластины и пластмассового корпуса. Рассчитываются на прочность коллекторы с несущим пластмассовым корпусом и коллекторы с несущим армированным пластмассовым корпусом. Нет необходимости

¹ Для тяговых электродвигателей имеется в виду применение армирующих узлов.

в расчете прочности коллекторов с пластинами, образованными разделением цельной заготовки. Их размеры выбираются по конструктивным соображениям¹.

Особенности расчета на прочность различных типов коллекторов на пластмассе обуславливаются конструкцией крепежной части пластины. Для коллекторов с профильными пластинами практически достаточно рассмотреть расчетные схемы принципиально различных типовых конструкций. С точки зрения расчета на прочность существуют три такие типовые конструкции: а, б и в (рис. 56).

Нагрузки, передаваемые медными пластинами несущим элементам коллектора, воспринимаются опорными поверхностями AD и BC пластмассового корпуса. Это приводит к деформации отдельных частей, сопряженных с медной пластиной (кольцевых или продольных выступов $ABCD$), и деформации всего пластмассового корпуса.

Напряжения, возникающие в сопряженных с пакетом частях пластмассового корпуса, являются определяющими при расчете прочности пластмассовых выступов и элементов коллекторной пластины, а напряжения, вызываемые радиальной деформацией (растягивающие напряжения), — при расчете прочности всего пластмассового корпуса. Поэтому расчет несущего пластмассового корпуса состоит из расчета местной прочности, под которой понимается несущая способность крепежных выступов, и расчета общей прочности, т. е. прочности всего пластмассового корпуса.

Различные температурные коэффициенты линейного расширения и особенно теплопроводности меди и пластмассы и возможные перепады температур, особенно при пайке секций, делают необходимым анализ тепловых режимов работы и сборки коллектора и возникающих при этом тепловых напряжений.

Расчет строится в предположении, что массы, применяемые в производстве коллекторов, следуют закону Гука. Экспериментальная проверка показала, что массы К-6 и АГ-4 обладают этой весьма существенной особенностью.

¹ Если с увеличением диаметра коллекторов, пакет которых образован разделением цельной заготовки, потребуется расчет на прочность, то он может быть проведен по расчетным схемам, изложенным ниже, но с учетом того, что арочный распор равен нулю.

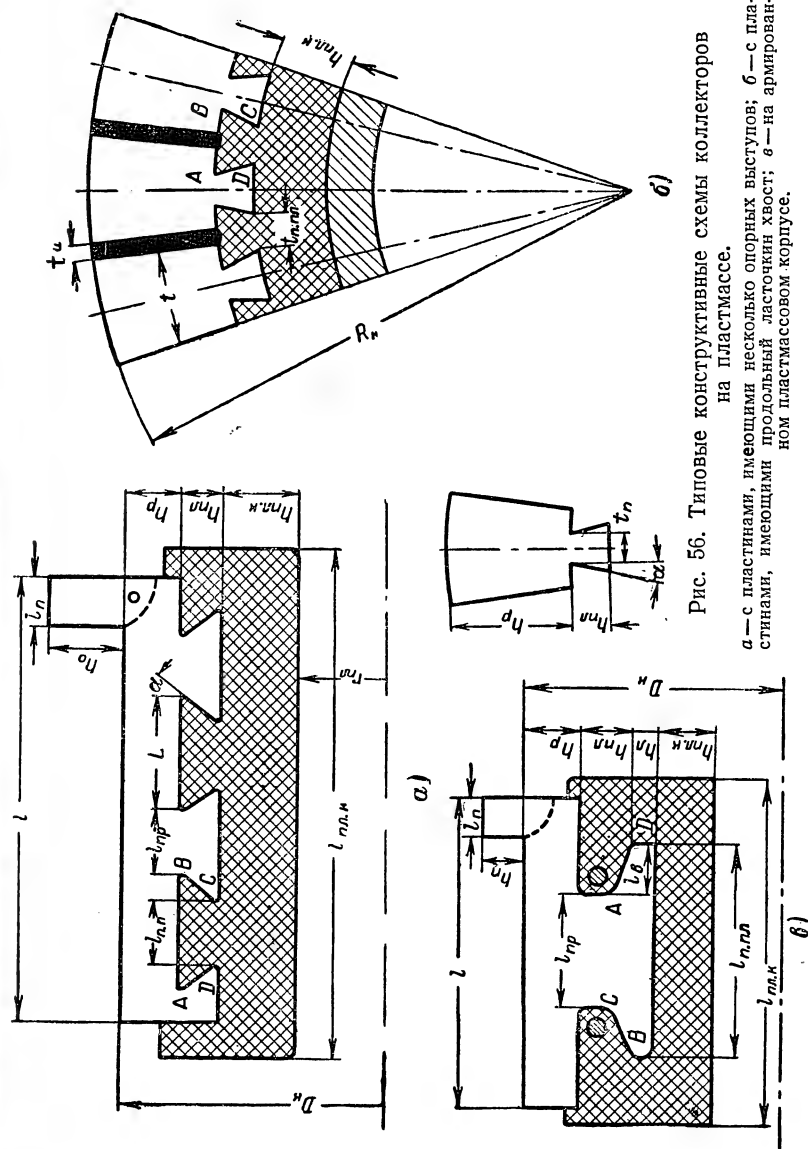


Рис. 56. Типовые конструктивные схемы коллекторов на пластмассе.

а — с пластинами, имеющими несколько опорных выступов; б — с пластинами, имеющими продольный ласточный хвост; в — на армированном пластмассовом корпусе.

При выборе геометрических параметров пластмассового корпуса расчет ведется по скорости вращения, которая, как правило, вдвое превышает эксплуатационную [Л. 37]. Тем самым обеспечивается четырехкратный запас прочности по центробежным силам. В качестве исходной характеристики берется предел кратковременной статической прочности, значения которого в зависимости от способа подготовки массы к прессованию приведены в табл. 28.

Таблица 28

Рекомендуемые данные по кратковременной и длительной прочности пластмасс К-6 и АГ-4С*

Пласт-масса	Способ подготовки массы к прессованию	σ_B , кг/см ²	σ , кг/см ²
АГ-4С	Экструдированная масса	1 000	400—500
	Экструдированная с подогреванием токами высокой частоты	1 400	600—700
	Жгутированная масса	1 000	400
К-6	В состоянии поставки	400—500	250
	С предварительным подогреванием токами высокой частоты	600—700	350

σ — предел длительной прочности с учетом срока службы не менее 10 000 ч.

* Кратковременная и длительная прочность массы АГ-4В составляет (0,75—0,80) σ_B и σ экструдированной массы АГ-4С.

При проверочном расчете подсчитываются напряжения, возникающие в пластмассовом корпусе в условиях эксплуатации. Они сравниваются с пределом длительной прочности выбранной марки пластмасс (табл. 28), и таким образом оценивается фактический запас прочности конструкции.

Ряд параметров конструкции: диаметр рабочей поверхности коллектора D_K , число коллекторных пластин k , их длина l и средняя толщина t , толщина изоляционных прокладок $t_{и}$ и максимальная скорость вращения $n_{\max}$ задается при общем расчете машины. Рабочая высота пластины выбирается в зависимости от принятой кон

струкции коллектора. Для удобства при проведении расчета эти величины сводятся в таблицу, в которую вносятся также механические характеристики применяемых материалов и принятые расчетные допускаемые напряжения материалов. В настоящее время для пластмасс отсутствуют опытные данные по допускаемым напряжениям на срез и смятие. При проведении расчетов они полагались соответственно равными $(0,5 \div 0,6) \sigma_{B \text{ пл}}$ *.

Нагрузка, приходящаяся на единицу длины окружности несущего пластмассового корпуса, подсчитывается по формуле (25) и используется при проверочном расчете. Для проектировочного расчета, когда еще неизвестны все параметры конструкции, удобнее пользоваться приближенными формулами.

Центробежная сила G , развиваемая одной коллекторной пластиной, подсчитывается по формуле

$$G = \frac{\gamma}{g} F t R \omega_p^2, \quad (26)$$

где $F = h_p l$ — площадь боковой поверхности пластины — умножается на коэффициент 1,3 для коллекторов, конструкция которых показана на рис. 56,в, или на коэффициент 1,2 для коллекторов конструкций, приведенных на рис. 56,а и б; коэффициентами 1,2—1,3 учитывается соответственно площадь заделанной в пластмассу части медной пластины; численные значения коэффициентов получены на основании анализа существующих конструкций; для случая, когда коллекторные пластины имеют цельные летушки, необходимо в выражении для F учитывать площадь летушка.

R — радиус инерции медной пластины; для проектировочного расчета с достаточной точностью можно принять, что

$$R = R_K - 0,5 h_p.$$

Таким образом, для разновидности коллекторов, приведенной на рис. 56,в, центробежная сила подсчитывается по формуле

$$G = 0,13 \cdot 10^{-6} t h_p l R n_p^2 \text{ кг}, \quad (27a)$$

* Для удобства изложения введены следующие индексы: пл — пластмасса; и — изоляция; ст — сталь; медь индекса не имеет.

а для коллекторов, показанных на рис. 56,а и б,—по формуле

$$G = 0,12 \cdot 10^{-8} h_p l R n_p^2 \text{ кг}. \quad (27б)$$

Радиальная составляющая арочного распора A_r , передаваемая одной пластиной пластмассовому корпусу, равна:

$$A_r = p_0 \frac{F}{R} t. \quad (28)$$

Удельное давление между пластинами p_0 подбирается по графикам на рис. 54. Если полученное значение меньше 100 кг/см^2 , то следует принимать $p_0 = 100 \text{ кг/см}^2$.

При проектировочном расчете, увеличивая запас прочности, можно суммировать нагрузки без учета убывания арочного распора при вращении коллектора. Суммарная сила для коллекторов по рис. 56,в:

$$T = \frac{1,3 h_p l t}{R} [p_0 + 0,09 v_p^2]; \quad (29а)$$

для коллекторов по рис. 56,а и б

$$T = \frac{1,2 h_p l t}{R} [p_0 + 0,09 v_p^2]. \quad (29б)$$

Для расчета необходима и сила T_p , развиваемая рабочей частью коллекторной пластины:

$$T_p = \frac{h_p l t}{R} [p_0 + 0,09 v_p^2], \quad (29в)$$

где v_p — расчетная скорость вращения коллектора, м/сек ($v_p \approx 2v_{\text{макс}}$).

При расчете пластмассового корпуса удобно пользоваться распределенной силой Q , приходящейся на единицу длины окружности коллектора:

$$Q = \frac{\theta T}{t}, \quad (30)$$

где сила T определяется по формулам (29а) и (29б) в зависимости от типа коллектора; t — средняя толщина пластин коллектора.

При расчете местной прочности можно пренебречь центробежными силами пластмассы; при расчете общей прочности необходимо учитывать центробежные силы, развиваемые пластмассовым корпусом при вращении коллектора.

б) Коллектор с пластинами, имеющими один или несколько крепежных выступов (рис. 56,а)

Расчет коллекторов с пластинами типов 1—1 и 2—1 является частным случаем расчета коллектора с пластинами, имеющими несколько крепежных выступов, и легко может быть получен из общего решения. Проектирование коллекторов с пластинами типа 2—1, имеющими Т-образный крепежный выступ, рассмотрено при расчете коллекторов с армированными пластмассовыми корпусами. Медная пластина, помимо крайних выступов, может иметь один или несколько промежуточных крепежных выступов. Число этих выступов определяется величиной пролета L , обеспечивающей заданную жесткость пакета пластин при вращении коллектора. При этом величина пролета должна учитывать также свободный проход пластмассы при прессовании корпуса. Жесткость пакета является достаточной [Л. 38], если

$$L \leq \sqrt{R_k h_0}. \quad (31)$$

По условиям прессования пластмассового корпуса для хорошего заполнения выемок пластин массами с длинноволокнистыми наполнителями рекомендуется брать

$$L = 15 \div 20 \text{ мм}. \quad (32)$$

Необходимая длина пролета выбирается из совместного анализа выражений (31) и (32). Число опор $z = \frac{l}{L}$.

Длина перешейка l_{np} должна обеспечивать нужную прочность при растяжении под действием силы T_p , откуда

$$l_{np} = \frac{T_p}{t z \sigma_B}. \quad (33)$$

В дальнейшем величину l_{np} необходимо проверить с точки зрения прочности пластины при прессовании массы. Остальные элементы медной пластины определяются при расчете пластмассового корпуса.

Местная прочность. Высота пластмассового выступа находится из условия обеспечения прочности его на срез и смятия опорной поверхности под действием силы Q :

Из условий среза

$$h_{пл} = \frac{Q}{n \tau_{ср.пл}}. \quad (34)$$

Из условий смятия

$$h_{пл} = \frac{Q}{n t g \alpha_{ср.пл}}, \quad (35)$$

где n — число площадок среза [для случая, когда все выступы имеют две опорные поверхности, $n=2z$; когда один крайний выступ имеет одну опорную поверхность, $n=2z-1$; когда оба крайних выступа имеют одну опорную поверхность, $n=2(z-1)$]; α — угол наклона выступа грани ласточкина хвоста; α выбирается равным примерно 30° . Высота пластмассового выступа определяется из совместного анализа выражений (34) и (35).

Длина перешейка медной пластины, подсчитываемая по формуле (33), проверяется по прочности на изгиб под действием возможного по высоте пластины перепада гидростатических давлений, развивающихся в процессе прессования пластмассового корпуса. Предполагается, что нагрузка q_0 равномерно распределена по опорной поверхности и составляет около $200-300 \text{ кг/см}^2$.

$$l_{\text{пр}} = 1,73 h_{\text{пл}} \sqrt{\frac{q_0}{\sigma_{\text{н}}}}. \quad (36)$$

Зная $h_{\text{пл}}$, α и $l_{\text{пр}}$, можно определить ширину пластмассового выступа $l_{\text{пл}}$ в месте крепления к пластмассовому корпусу:

$$l_{\text{пл}} = \frac{l}{z} - 2h_{\text{пл}} \operatorname{tg} \alpha - l_{\text{пр}} \quad (37)$$

и проверить напряжения $\sigma_{\text{р.пл}}$, возникающие в поперечном сечении:

$$\sigma_{\text{р.пл}} = \frac{Q}{l_{\text{пл}} \left(1 + \frac{h_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}} \right) z}, \quad (38)$$

где $R_{\text{пл}} \approx 0,8R_{\text{к}}$.

Выражение (38) получено с учетом подкрепляющего действия соседних элементов кольцевого выступа.

После этого можно определить полную высоту медной пластины $H = h_{\text{р}} + h_{\text{пл}}$ и найти боковую ее поверхность.

Общая прочность. Толщина пластмассового корпуса находится из условий необходимой прочности при растяжении под действием центробежных сил:

$$h_{\text{пл.к}} = \frac{1,25QR}{l_{\text{пл.к}} \sigma_{\text{в.пл}}}.$$

Коэффициентом 1,25 учтены центробежные силы пластмассы. Если принять, что $l_{\text{пл.к}} = 1,25l$, то

$$h_{\text{пл.к}} = \frac{QR}{l \sigma_{\text{в.пл}}}. \quad (39)$$

Если пластина имеет один опорный выступ (1—1), то необходимо проверить прочность пластмассового корпуса в сечении II—II (см. рис. 6). Необходимая толщина обрамляющей части пластмассового корпуса

$$l_0 = \frac{Q}{2\tau_{\text{ср.пл}} \operatorname{tg} \alpha}. \quad (40)$$

Как уже упоминалось, если число промежуточных выступов больше одного и не приняты специальные конструктивные меры, то при интенсивном нагревании медная пластина лишается возможности свободно удлиняться и возникает опасность появления весьма значительных температурных напряжений в осевом направлении. Эти напряжения должны быть учтены при расчете толщины пластмассового корпуса.

При расчете коллекторов с пластинами ступенчато-углового профиля можно пользоваться методикой, изложенной выше, но должна быть учтена уменьшенная толщина крепежной части пластин.

в) Коллекторы с пластинами, имеющими продольные опорные выступы

Конструктивная особенность коллекторов этой группы состоит в том, что ласточкин хвост, обеспечивающий закрепление медной пластины в пластмассовом корпусе, выполняется в поперечном сечении медной пластины по всей ее длине (рис. 56,б). Величина перешейка медной пластины находится по необходимой прочности пластины, нагруженной силой $T_{\text{р}}$:

$$t_{\text{п}} = \frac{T_{\text{р}}}{l \sigma_{\text{в}}}. \quad (41)$$

Если пластина имеет конструкцию типов 17—6 и 18—6, то вырезы должны быть учтены при подстановке в формулу длины закреплённой части пластины.

Использование формулы (41) приводит в ряде случаев к технологически трудно выполнимому размеру перешейка. Кроме того, из-за опасности изгиба под действием гидростатического давления во время прессования корпуса целесообразно принимать

$$t_{\text{п}} \geq 1 - 1,5 \text{ мм}. \quad (42)$$

Угол α выбирается таким образом, чтобы обеспечить оптимальное сочетание высоты ласточкина хвоста и ширины пластмассовой перемычки. Рассматриваемая задача подобна расчету крепления лопаток турбокомпрессора, ввиду чего можно рекомендовать $\alpha = 20-25^\circ$ (см., например, [Л. 7]).

Местная прочность. Высота пластмассового выступа находится через напряжения на срез и смятие под действием силы T : из условий среза

$$h_{\text{пл}} = 0,5 \frac{T}{l \tau_{\text{ср.пл}}}; \quad (43)$$

из условий смятия

$$h_{\text{пл}} = 0,5 \frac{T}{l \tau_{\text{с.пл}} \operatorname{tg} \alpha}. \quad (44)$$

Высота $h_{\text{пл}}$ выбирается из совместного анализа выражений (43) и (44).

Остается подсчитать размер пластмассовой перемычки и проверить пластмассовый выступ на отрыв. Для коллектора, имеющего пластины с непрерывным продольным ласточкиным хвостом,

$$t_{\text{п.пл}} = (t_{\text{л}} + t_{\text{п}}) - t_{\text{п}} - 2h_{\text{пл}} \operatorname{tg} \alpha. \quad (45a)$$

Если продольный ласточкин хвост прерывистый, то

$$t_{п.пл} = 2(t + t_n) - t_n - 2h_{пл} \operatorname{tg} \alpha. \quad (456)$$

Напряжения, возникающие в поперечном сечении, равны:

$$\sigma_{р.пл} = \frac{T}{t_{п.пл} l} \leq \sigma_{в.пл}. \quad (46)$$

Сечение пластмассового корпуса $h_{пл.к}$ определяется по общей прочности коллектора:

$$h_{пл.к} = \frac{1,25QR}{l\sigma_{в.пл}}. \quad (47)$$

У коллекторов, имеющих пластины с непрерывным продольным ласточкиным хвостом, температурная деформация пластин в осевом направлении, как правило, неограничена. Однако в них из-за высокого коэффициента заполнения медью имеется опасность резкого повышения арочного распора при нестационарных температурных режимах. В отдельных случаях это может вызвать даже разрушение коллектора. Поэтому подобные изменения арочного распора должны быть учтены при расчете общей и местной прочности и приняты технологические меры для уменьшения перепадов температур.

г) Коллекторы с несущим армированным пластмассовым корпусом

Коллекторы этой группы (рис. 56,в) выполняются в армированном и неармированном вариантах. При этом они могут иметь один или несколько Т-образных выступов. Как правило, эта конструкция имеет один выступ и армировочные кольца; ниже дается расчет конструкции, показанной на рис. 56,в*.

Ширина опорной части медной пластины $l_{пр}$ находится из прочности при растяжении под действием силы T_p :

$$l_{пр} = \frac{T_p}{t\sigma_v}. \quad (48)$$

Подсчет по формуле (48) может привести к конструктивно неприемлемой величине $l_{пр}$. Из конструктивных соображений рекомендуется принимать

$$l_{пр} = (0,25 - 0,3) l.$$

Нагрузки, передаваемые коллекторными пластинами кольцевому выступу пластмассового корпуса, приводят к изгибу этого выступа и к радиальной деформации пластмассового корпуса. Расчет армированного кольцевого выступа сводится к расчету консольной балки-полоски на упругом основании с упругой опорой в пролете. При этом

* Последовательность расчета конструкции, не имеющей армировки, аналогична изложенной. Для расчета надо положить площадь сечения армировки равной нулю.

влияние соседних балок-полосок учитывается введением упругого основания. Роль упругой опоры выполняет стальное кольцо. В рассматриваемых конструкциях коллекторов $\frac{h_{пл}}{l_v} \geq 0,5$, т. е. консоль

представляет собой короткую высокую балку, в связи с чем необходим учет сдвигов при изгибе [Л. 32]. Нагрузка считается равномерно распределенной не только по окружности, но и по длине образующей кольцевого выступа.

Длина кольцевого выступа l_v находится из расчета пластмассового выступа на смятие под действием силы Q . Считая частью запаса прочности разгружающее влияние стального кольца, им при расчете на смятие можно пренебречь. Тогда

$$l_v = 0,5 \frac{Q}{\sigma_{см.пл}}. \quad (49)$$

Изгибающий момент относительно плоскости заделки

$$M_0 = M_q - M_p,$$

где M_q — изгибающий момент в заделке от распределенной нагрузки, передаваемой коллекторными пластинами;

M_p — изгибающий момент в заделке, вызываемый реакцией упругой опоры P_k .

Если принять, что оптимальная величина разгружающего влияния армировочного стального кольца равна 20%*, то по условиям прочности на изгиб высота пластмассового выступа

$$h_{пл} = 1,1 \sqrt{\frac{Ql_v}{\sigma_{н.пл}}}. \quad (50)$$

Из условий среза, пренебрегая разгружающим влиянием армировки (влияние которой учтено в дальнейшем), следует:

$$h_{пл} = \frac{0,5Q}{\tau_{ср.пл}}. \quad (51)$$

Выражения (50) и (51) позволяют выбирать высоту пластмассового выступа. Для увеличения местной прочности, а она растет пропорционально квадрату $h_{пл}$, рекомендуется крепежную часть медных пластин делать конической. Оптимальное значение угла $\Psi = 20 \div 30^\circ$. Высота опорной части Т-образного выступа h_n находится по прочности медной пластины на срез и изгиб под действием силы T и на изгиб под действием разности гидростатических давлений при прессовании пластмассового корпуса.

По условиям изгиба

$$h_n = 1,22 \sqrt{\frac{Tl_v}{\sigma_n}}; \quad (52)$$

* Увеличение разгружающего влияния стального кольца до 30% привело бы к увеличению его площади в 2 раза [Л. 37].

по условиям среза

$$h_{\pi} = 0,5 \frac{T}{t\tau_{ср}}. \quad (53)$$

Действие гидростатического давления (наихудший случай, когда давление действует с одной стороны ласточкина хвоста), если нагрузка равномерно распределена и имеет интенсивность 200—300 кГ/см²,

$$h_{\pi} = 1,73l_{\pi} \sqrt{\frac{q_0}{\sigma_{\pi}}}. \quad (54)$$

Высота h_{π} находится из совместного анализа выражений (52), (53) и (54). Зная h_{π} , h_p и $h_{\pi\pi}$, можно подсчитать общую высоту медной пластины.

Площадь армировочного кольца находится по формуле

$$F_{ст} = 0,091 \frac{E_{\pi\pi}}{E_{ст}} \left(\frac{h_{\pi\pi}}{l_{\pi}} \right)^2 R^2. \quad (55)$$

После подсчета $F_{ст}$ необходимо подобрать марку армировочного материала. Напряжения, возникающие в армировочном кольце (56), должны быть меньше предела пропорциональности выбранной марки стали. Суммарные напряжения, возникающие в стальном кольце, складываются из напряжений, вызванных радиальной деформацией пластмассового корпуса, и напряжений, обусловленных изгибом кольцевого выступа¹:

$$\sigma_{ст} = \sigma_{р.п\pi} \frac{E_{ст}}{E_{\pi\pi}} + P_{\kappa} \frac{R}{F_{ст}}, \quad (56)$$

где $\sigma_{р.п\pi}$ подсчитывается по формуле (57).

Если разгружающее влияние стального кольца равно 20%, то

$$P_{\kappa} = 0,05Q.$$

Общая прочность. Напряжения, действующие в поперечных сечениях пластмассового корпуса,

$$\sigma_{р.п\pi} = \frac{Q}{F_{\pi\pi}} R. \quad (57)$$

Здесь $F_{\pi\pi} = F_{\pi\pi} + 2 \frac{E_{ст}}{E_{\pi\pi}} F_{ст}$ — приведенная площадь поперечного сечения несущего пластмассового корпуса с учетом армировочных колец. Эти напряжения должны быть меньше допускаемых на растяжение для выбранной марки пластмассы. Если принять, что

$$F_{\pi\pi} = 1,25h_{\pi\pi}l,$$

то

$$h_{\pi\pi} = \frac{QR}{m \cdot 1,25l\sigma_{в.п\pi}}, \quad (58)$$

¹ Армировочное кольцо деформируется вместе с пластмассовым корпусом; эксперименты подтвердили правильность этой гипотезы.

где m — коэффициент однородности, учитывающий неоднородность несущего пластмассового корпуса, которая растет с увеличением навески массы; рекомендуемая величина $m = 0,75 \div 1,00$ (в зависимости от размеров коллектора и способа подготовки массы к прессованию).

Для проверки прочности пластмассового корпуса в сечении I—I необходимо подсчитать нагрузку $q_{\pi\pi}$, передаваемую выступом остальному сечению пластмассового кольца (рис. 57):

$$q_{\pi\pi} = 2 \frac{F'_{\pi\pi}}{F_{\pi\pi}} Q, \quad (59)$$

где $F'_{\pi\pi}$ — площадь поперечного сечения пластмассового кольца, свободная от нагрузки.

Возникающие при этом касательные напряжения в сечении, показанном на рис. 57,

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{\pi\pi}}{h_{\pi\pi}} \leq \tau_{\pi\pi}, \quad (60)$$

где $\tau_{\pi\pi}$ — допускаемые касательные напряжения для выбранной марки пластмассы.

Высота пластмассового выступа $h_{\pi\pi}$ должна быть проверена с учетом действия касательных напряжений.

Напряжения, возникающие в сечении I—I,

$$\sigma_0 = \frac{q_{\pi\pi}}{l_{\pi\pi} \left(1 + \frac{h_{\pi\pi}}{R} \right)}, \quad (61)$$

где $l_{\pi\pi}$ — ширина пластмассовой перемычки.

Для коллектора рассматриваемой группы необходима проверка общей прочности при нестационарных температурных режимах (в частности, при пайке секций). Толщина пластмассового корпуса должна быть достаточной для обеспечения прочности при заданных режимах.

При расчете коллекторов, армированных узлами, схема расчета изменяется. Разгружающее влияние армировки в этом случае может составлять 100%. Армирующие узлы оказывают существенное влияние и на общую прочность конструкции.

д) Температурные напряжения

Процессы изготовления коллекторных электрических машин и их эксплуатация связаны с различными изменениями температуры коллектора. Вследствие этого возникают температурные напряжения.

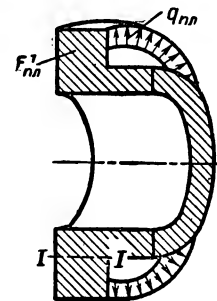


Рис. 57. Передача усилий от кольцевого выступа пластмассовому корпусу.

которые предъявляют дополнительные серьезные требования к прочности коллектора на пластмассе. Эти напряжения должны учитываться при проектировании несущего пластмассового корпуса.

Обычно для коллекторов учитывают только температурные усилия, возникающие в аксиальном направлении. Для коллекторов с металлическими корпусами, например, эти усилия учитываются при определении натяга болтов. У коллекторов на пластмассе температурные напряжения воспринимаются пластмассовым корпусом, причем разность значений теплопроводности и коэффициентов линейного расширения меди и пластмассы является при этом единственным источником появления напряжений в осевом направлении. Однако для коллекторов с высоким коэффициентом заполнения медью должны быть учтены также температурные напряжения, возникающие в радиальном направлении.

Вследствие хорошей теплопроводности меди можно считать, что медные пластины имеют температуру, равную температуре рабочей поверхности коллектора. Эту же температуру имеет соприкасающийся с медью тонкий слой пластмассового корпуса.

Из-за низкой по сравнению с медью теплопроводности применяемых пластмасс и значительной толщины пластмассового корпуса нагревание пластмассы и процесс выравнивания температуры идут медленно.

В зависимости от того, какую температуру имеют медь и пластмасса, можно различать стационарные и нестационарные тепловые режимы.

При стационарном режиме для закрытой машины медь и пластмасса имеют практически одинаковую температуру; для вентилируемых машин обязателен перепад температур по сечению пластмассового корпуса.

Под нестационарным режимом понимается такой, при котором медь нагрета до заданной температуры, а пластмасса имеет температуру окружающей среды.

В случае стационарного теплового режима причиной возникновения температурных напряжений является разность линейных коэффициентов температурного расширения меди и пластмассы. Для некоторых пластических масс, применяемых в производстве коллекторов (например, АГ-4), этот коэффициент близок к таковому для меди. В этом случае при одинаковой температуре меди и пластмассы температурными напряжениями в аксиальном направлении можно пренебречь.

Гораздо более опасны для коллекторов на пластмассе нестационарные тепловые режимы, когда медь быстро нагревается, а пластмассовый корпус сохраняет температуру окружающей среды. В этом случае усилие Q_t подсчитывается по следующим приближенным формулам для отдельных конструктивных разновидностей медных пластин коллекторов.

а) Пластины с многократными выступами:

$$Q_t = \frac{\alpha \Delta t}{\frac{1}{E_{пл} h_{пл,к}} + \frac{1}{E h_p \Theta}}; \quad (62)$$

б) пластины с Т-образным выступом

$$Q_t = \frac{\alpha \Delta t}{\frac{1}{E_{пл} h_{пл,к}} + \frac{1}{E \Theta H}}, \quad (63)$$

где Δt — перепад температур меди и пластмассы. Растягивающие напряжения, вызванные Q_t ,

$$\sigma_{пл} = \frac{Q_t}{h_{пл,к}} \quad (64)$$

Эти напряжения, особенно при пайке секций, могут достигать весьма значительной величины, в связи с чем может потребоваться увеличение толщины пластмассового корпуса. Температурная деформация в радиальном направлении приводит к значительному увеличению арочного распора, причем резкий перепад температур наиболее опасен для коллекторов с высоким коэффициентом заполнения медью. Если считать, что медь является абсолютно жесткой по сравнению с материалом изоляционных прокладок, то последние являются как бы подушками, амортизирующими температурное расширение меди. В этом случае

$$\Delta p_0 = \alpha \Delta t E_{пл} \frac{t}{t_{пл}}. \quad (65)$$

Легко показать (рис. 58), что арочный распор резко возрастает с увеличением Θ .

Необходимо отметить, что высокие температурные напряжения, возникающие в осевом и тангенциальном направлениях при пайке секций методом окунания, должны предупреждаться лутем специальных конструктивных и технологических мер.

е) Поверочный расчет

После окончания проектировочного расчета по конструктивным соображениям корректируются размеры пластмассового корпуса и опорной части медных пластин. С помощью формул, приведенных выше, можно определить нагрузки, действующие на коллектор, и проверить напряжения, возникающие в опасных сечениях. Эти напряжения должны быть в соответствии с заданными запасами прочности ниже предела длительной прочности для выбранной марки пластмассы.

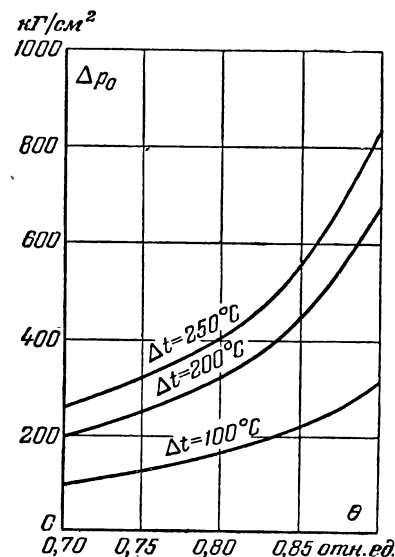


Рис. 58. Кривые изменения удельного давления между пластинами в зависимости от коэффициента заполнения коллектора медью.

Таблица 29

Фактические данные прочности коллекторов на пластмассе

Тип машины	$D_{\text{макс}}, \text{мм}$	$D_{\text{к}}, \text{мм}$	$n_{\text{макс}}, \text{об/мин}$	Пластмасса	Вариант исполнения медной пластины	$H, \text{мм}$	$n_{\text{р}}, \text{об/мин}$	$v_{\text{р}}, \text{м/сек}$	
								по рабочей поверхности	по максимуму диаметру
ДК-907	112	72	2 500	К-6 К-6 АГ-4С К-6	1—1 (без петушка) 1—1 1—1 9—1	22 22 22 10,5	14 900 11 100 12 200 13 000	60	60
								44	67
								48	75
								50	76
ДК-908	169	124	960	К-6 АГ-4С К-6 К-6 К-6	2—1 2—1 2—1 армирован стальным кольцом 9—1 16—6	25 25 25 15 12,5	6 800 7 200 8 000 8 500 Испытан на 6 000 об/мин, до разрушения не доводился	45	60
								48	64
								52	70
								55	74
РД-2	240	210	1 800	К-6 К-6	2—1 армирован стальным кольцом 13—1 17—6	39,5 39,5	5 800 7 500	61	70
								75	82
ДК-604	315	315	1 800	АГ-4С	3—1	25	4 800	64	73
								50	58
ДК-106	520	460	2 080	АГ-4С	2—1 армирован силовым узлом 13—1	59 33	4 300— 5 000 3 000	80	80
								103—	116—
								120	135
								72	82

Примечание. Медные пластины коллекторов машин ДК-907, ДК-908, РД-2, ДК-106 выполнены с массивными цельными петушками, $n_{\text{р}}$ и $v_{\text{р}}$ — скорость вращения и окружная скорость, при которых разрушался коллектор.

Изложенные способы могут быть сведены в расчетный формуляр для проектирования коллектора [Л. 47].

С целью проверки предлагаемой методики расчета и получения фактических данных о прочности коллекторов были испытаны различные конструкции коллекторов на пластмассе. В табл. 29 приведены полученные при этом данные результатов испытаний.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

20. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКА КОЛЛЕКТОРА

а) Изготовление пластин

Для коллекторов на пластмассе, пакет которых собран из отдельных профильных пластин, заготовкой последних служит полосовая коллекторная медь. Наиболее распространенный способ изготовления пластин — вырубка на эксцентриковых прессах. Пластина по длине и крепежным поверхностям штампуется по окончательным размерам. По рабочей поверхности оставляется припуск на механическую обработку.

Конструкция штампа зависит от размеров полосы и конфигурации пластины. Для малых пластин небольшой толщины применяются простые вырубные штампы. На рис. 59 показан штамп для вырубки медной пластины коллектора для генератора преобразователя ДК-604. Рабочая плоскость пуансона выполнена с наклоном, соответствующим углу профиля медной полосы. В результате этого нижняя плоскость полосы оказывается расположенной горизонтально, что создает нормальные условия штамповки. При сложной конфигурации пластины, а также при большой ее толщине применяются последовательные вырубные штампы.

Перед штамповкой медные полосы протираются. У штампованных пластин острые кромки и заусенцы устраняются галтовкой их в барабане с древесными опилками. Пластины после галтования обдуваются сжатым воздухом.

В настоящее время кабельная промышленность не поставляет полосовой меди с продольными опорными выступами. Их получают фрезерованием профильных заго-

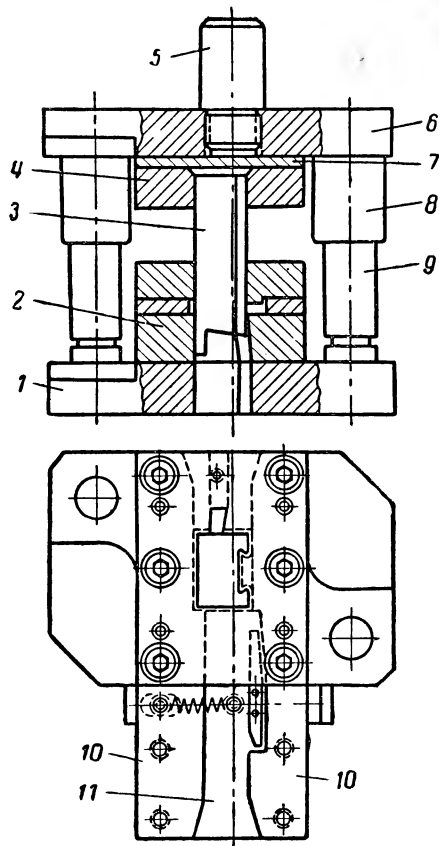


Рис. 59. Штамп для вырубki пластин.
1 — нижняя плита; 2 — матрица; 3 — пуансон;
4 — пуансонодержатель; 5 — хвостовик; 6 —
верхняя плита; 7 — прокладка; 8 — направля-
ющие втулки; 9 — колонки; 10 и 11 — направ-
ляющие планки.

товок. На рис. 60 показано приспособление для одно-
временного фрезерования продольного ласточкина
хвоста четырех коллекторных пластин генератора пре-
образователя ДК-604.

Приспособление имеет четыре планки 3, на которые
устанавливаются для фрезерования коллекторные пла-
стины 4. Пластины зажимаются четырьмя кулачками 7
с помощью тяг 9, связанных с двумя соединительными

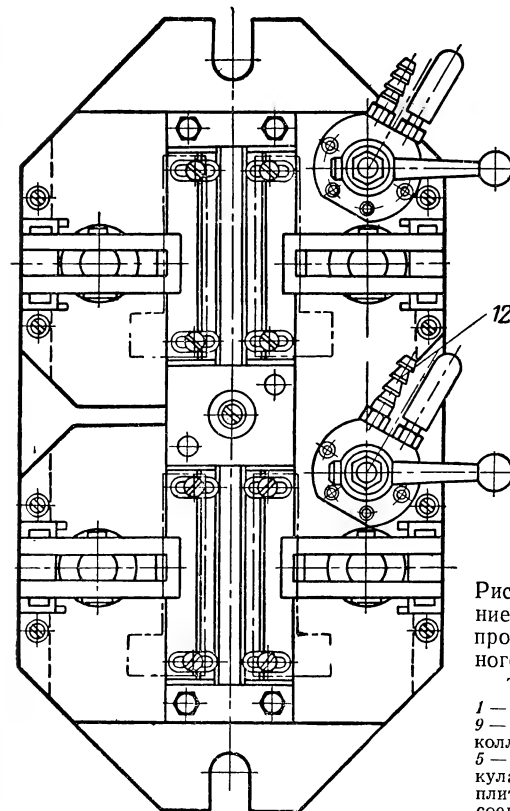
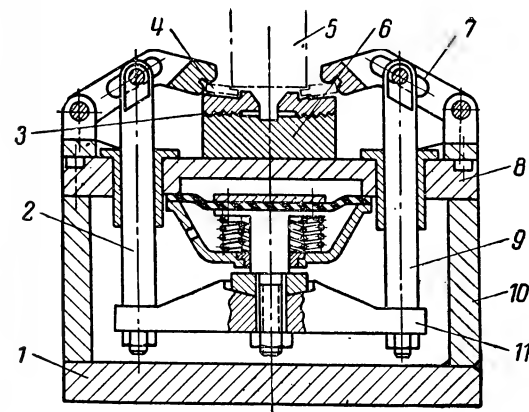


Рис. 60. Приспособле-
ние для фрезерования
продольного крепеж-
ного выступа коллек-
торных пластин.

1 — нижняя плита; 2 и
9 — тяги; 3 — планки; 4 —
коллекторные пластины;
5 — фреза; 6 — олов; 7 —
кулачки; 8 — верхняя
плита; 10 — стойки; 11 —
соединительные планки;
12 — штуцер.

планками 11. Усилие на соединительных планках создается пневмокамерой. Сжатый воздух в пневмокамеру подается через штуцер 12 и золотниковый кран. Ласточкин хвост пластины фрезеруется последовательно: вначале в двух левых планках фрезеруется одна его сторона, потом пластины переустанавливаются в правые планки, в которых фрезеруется другая сторона ласточкина хвоста.

После штамповки коллекторные пластины правятся. В выправленных пластинах средних и крупных коллекторов фрезеруются шлицы, которые затем обычно облуживаются припоем заданной марки.

б) Изготовление изоляционных прокладок

Заготовкой для прокладок являются полосы и листы миканита или слюдинита, которые разрезаются на гильотинных или роликовых ножницах. Линии разреза должны быть ровными, без перекосов и расслоений. Из полос на эксцентриковом прессе штампуются прокладки. Конструкция штампа, а также связанная с ней ширина полосы должны обеспечивать максимальное использование дорогостоящих материалов на основе слюды.

На рис. 61 приведена конструкция штампа для последовательной штамповки изоляционных прокладок к коллекторам с пластинами типа 4-1.

Под вырубным отверстием матрицы укрепляется кассета для пакетирования прокладок, которая по мере заполнения заменяется. Кассеты удобны не только тем, что предохраняют прокладки от порчи при транспортировке, но и тем, что все прокладки укладываются в кассеты в одном положении, технологической фаской в одну сторону. Это избавляет от необходимости перебирать прокладки перед сборкой пакетов коллекторов.

В процессе штамповки миканит легко выкрашивается и расслаивается. Фирмой Nelco (Англия) выпускаются коллекторы, заготовки миканита для которых перед штамповкой окрашиваются с обеих сторон в синий цвет, так что любое отслаивание пластинок слюды во время штамповки при осмотре легко обнаруживается. Для того чтобы избежать расслаиваний и выкрашиваний, миканитовые полосы перед штамповкой целесообразно подогревать в термостате до 70° С.

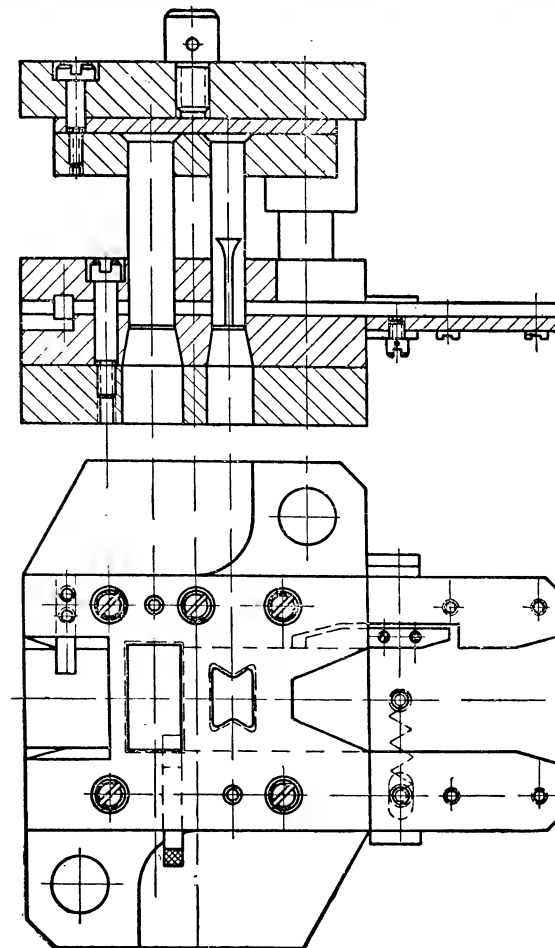


Рис. 61. Последовательный штамп для вырубки изоляционной прокладки.

Прокладки из слюдинита хорошо штампуются без подогревания, но так как они менее прочны, чем прокладки из миканита, обращаться с ними нужно более бережно.

Штампы для изоляционных прокладок должны быть изготовлены весьма тщательно, с небольшими зазорами между пуансоном и матрицей. Чистота обработки

режущих поверхностей должна быть не ниже $\Delta 10$. Абразивные свойства слюды заставляют часто затачивать штампы.

Прокладки штампуются по окончательным размерам, но по наружному диаметру и длине предусматриваются припуски на механическую обработку. Величина припусков такая же, как и для коллекторных пластин.

Вырубленные миканитовые прокладки контролируются и упаковываются. Прокладки не должны иметь расщелений; чешуйки слюды не должны выступать за контур детали; линии среза должны быть ровными и гладкими. Не допускаются прокладки с обломанными краями и трещинами. Для крупных коллекторов прокладки калибруются по толщине и сортируются по группам через 0,03 мм.

Прокладки, упакованные в бумажные пакеты, укладываются в тару, на которой указываются наименование изделия и номер группы прокладок по толщине. Хранение навалом в ящиках приводит к порче и выкрашиванию прокладок. Прокладки хранятся в сухом, теплом и изолированном от пыли помещении.

в) Изготовление армировочных колец

Стальные армировочные кольца из проволоки навиваются в виде непрерывной спирали на цилиндрическую оправку. В связи с тем, что после навивки диаметр спирали в силу пружинящих свойств проволоки несколько увеличивается, диаметр рабочей части оправки подбирается опытным путем. Проще всего это выполняется на многоступенчатой оправке, у которой разность между диаметрами соседних ступеней составляет от 1,5 до 3 мм. Навитая спираль разрезается на отдельные витки, которые свариваются в стык, образуя кольца. Далее кольца попарно свариваются так, чтобы места сварки отдельных колец были диаметрально противоположными. Места сварки зачищаются. Армировочные кольца из пластмассы АГ-4С получают путем разрезки труб, изготовленных намоткой.

г) Сборка пакета коллектора

Пакет пластин собирается ручным способом; при этом коллекторные пластины чередуются с изоляционными прокладками. Последние укладываются техно-

гическими фасками в одну сторону. При сборке пакета необходимо тщательно осматривать и отбраковывать изоляционные прокладки, имеющие надломы и другие дефекты.

Собираются пакеты, как правило, на сборочном диске с пазами, число которых равно числу пластин коллектора. Глубина паза равна величине, на которую выступают с торцевой части коллектора изоляционные прокладки; ширина их превышает толщину прокладки на 0,5—1,0 мм. Такой диск облегчает работу сборщика, поскольку одновременно со сборкой контролируется число пластин пакета.

Собранный пакет опрессовывается в сборочном кольце, состоящем из одного цельного и одного или двух конических колец, разрезанных на сегменты [Л. 5]. На собранный пакет накладываются сегменты (сектора) внутреннего кольца (плашки), которые стягиваются отожженной проволокой; после этого сборочное кольцо подпрессовывается, проволока снимается и проверяется перпендикулярность пластин плите; в случае необходимости пластины выравниваются.

Собранный пакет опрессовывается в кольцо на гидравлическом прессе, после чего вновь проверяется правильность положения пластин. В случае их перекоса более чем на толщину миканитовой прокладки пакет распрессовывается и вновь выравнивается. Пакет опрессовывается в кольца в холодном состоянии 1 раз. При опрессовке необходимо обратить внимание на равномерность давления на кольцо, так как перекося торца пакета относительно кольца может привести к торцовому биению готового коллектора.

Однократная холодная опрессовка пакета коллектора на пластмассе вполне обеспечивает его работоспособность.

При изготовлении опрессовочных колец и плашек необходимо обратить особое внимание на недопустимость эксцентриситета внутреннего и наружного диаметров, что приведет к радиальному биению коллектора, после устранения которого протачиванием диаметр коллектора может оказаться меньше допустимого.

При сборке пакетов армированных коллекторов, имеющих пластины ступенчато-углового профиля (сечений 3, 4 и 5), в которых для фиксации армиро-

вочных колец применяются изоляционные прокладки с вырезами (рис. 33), необходимо применять специальное приспособление в виде металлического стакана с прорезями для коллекторной меди (рис. 62,а).

Наружный диаметр D_1 соответствует внутреннему диаметру армировочного кольца коллектора, а диаметр

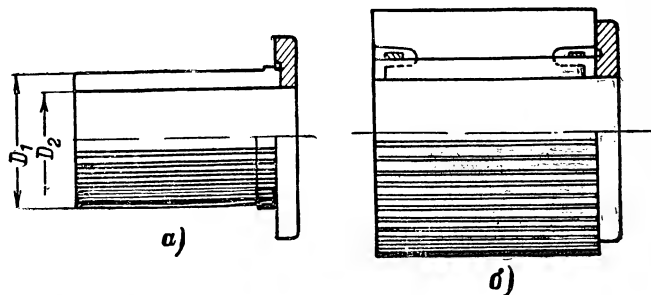


Рис. 62. Приспособление для установки армировочных колец.
а — стакан; б — собранный пакет.

D_2 несколько больше (с учетом последующей опрессовки) внутреннего диаметра пакета коллектора. Вначале на приспособление надевается армировочное кольцо, затем в него вставляются пластины и надевается второе кольцо. Армировочные кольца фиксируются в прорезях миканитовых прокладок (рис. 62,б), которые вставляются в радиальном направлении. Собранный пакет стягивается мягкой проволокой, снимается с приспособления и опрессовывается в кольцо с плашками.

Сборку и опрессовку коллекторов следует выполнять на специализированных коллекторных участках.

д) Получение заданного арочного распора

Создание оптимального давления пресса и наимыгоднейшего теплового режима опрессовки пакета в значительной мере предопределяет качество коллектора. Усилие опрессовки пакета должно обеспечить заданное удельное давление между пластинами. При регламентировании этого усилия необходимо учесть падение арочного распора в процессе изготовления коллектора на пластмассе. Усилие опрессовки P , технологически обеспечивающее создание необходимого удельного давления

между пластинами p_0 , для сборочных колец и разрезных сегментов (плашек) с малым конусом подсчитывается по формуле

$$P = \pi f_k D_k \beta p_0 \left[1 + \frac{E_k F}{(1 - \theta) E_{пл} F_{пр}} \right] \frac{F}{R}, \quad (66)$$

где f_k — коэффициент трения между сборочным кольцом и конусными сегментами с учетом угла сегментов;

β — коэффициент, учитывающий снижение арочного распора при опрессовке пластмассой и термообработке коллектора.

Выражение в квадратных скобках учитывает снижение арочного распора при снятии сборочного кольца.

Угол наклона образующей конуса для обеспечения самоторможения сегментов в сборочном кольце выбирается около 4° ($0,07 \text{ рад}$); коэффициент трения, как показали измерения, равен 0,25. Следовательно $f_k = 0,25 + 0,07 = 0,32$.

Коэффициент β зависит от диаметра коллектора, материала изоляционных пластин, марки пластмассы, режимов прессования корпуса, термообработки готового коллектора и ряда других факторов. Некоторые из них весьма неопределенны. Поэтому теоретически определить коэффициент β трудно. Как показали эксперименты, термическая и силовая усадка изоляционных прокладок оказывает основное влияние на величину арочного распора. В зависимости от того, когда достигается эта усадка (во время специальной горячей опрессовки пакета или во время прессования массы), существуют два способа определения усилий опрессовки.

У коллекторов с металлическими корпусами усадка изоляционных пластин достигается за счет нескольких опрессовок пакета в горячем и холодном состояниях. Коллекторы на пластмассе позволяют отказаться от горячих опрессовок пакета, поскольку процесс полимеризации и усадки материала изоляционных прокладок совмещается в них с процессом изготовления пластмассового корпуса. Во время прессования корпуса вследствие первоначально созданного арочного распора и температурного расширения меди между коллекторными пластинами создается удельное давление около 600 кг/см^2 при температуре $140\text{—}180^\circ \text{C}$ (в зависимости от марки

пластмассы). Время выдержки в пресс-форме в подобных условиях составляет от 6 до 90 мин в зависимости от размеров коллектора. Тем самым обеспечиваются благоприятные условия для температурной и силовой усадки материала изоляционных пластин. Специальными измерениями было установлено [Л. 33], что $\beta=5$. Если учесть, что отношение $\frac{R}{R_R} \approx 1,0$ и произведение $f_{\kappa}\pi=1$, то выражение (66) принимает вид:

$$P=10Fp_0\left[1+\frac{E_{\kappa}F}{(1-\Theta)E_{\text{пл}}F_{\text{пл}}}\right]. \quad (67)$$

Для случая, когда горячая опрессовка пакета коллектора перед прессованием пластмассового корпуса по каким-либо причинам сохранена, необходимо вначале подсчитать усилие опрессовки пакета в холодном состоянии. Для этого могут быть использованы формулы, применяемые для определения усилия опрессовки при изготовлении коллекторов с металлическими корпусами [Л. 5]. При подсчете усилия опрессовки в горячем состоянии $\beta=1,2 \div 1,5$.

21. ПРЕСС-ФОРМЫ И ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

а) Конструкция пресс-форм

Несущие пластмассовые корпуса коллекторов в зависимости от конструкции, размеров и применяемого прессового оборудования прессуются или в открытых пресс-формах или в пресс-формах, загрузочное пространство которых имеет форму кольца (так называемое «щелевое» прессование).

В зависимости от количества изготавливаемых коллекторов пресс-формы могут быть стационарными или съемными, одногнездными и многогнездными. От мощности пресса зависят размеры загрузочной камеры пресс-форм. Ход и максимальное расстояние между нижней и верхней плитами пресса регламентируют высоту, а следовательно, и объем загрузочной камеры пресс-формы.

Особенности конструкции коллекторов больших диаметров и ограниченные мощности прессового оборудования заставляют использовать так называемое «ще-

левое» прессование. На рис. 63 показана пресс-форма для коллекторов преобразователя ДК-604, приспособленная для опрессовки коллектора двигателя.

Пресс-форма состоит из трех основных частей: нижней, запорной крышки 9 и верхней. Нижняя часть пресс-формы укрепляется на столе пресса при помощи плиты 4, на которой на опорных про-

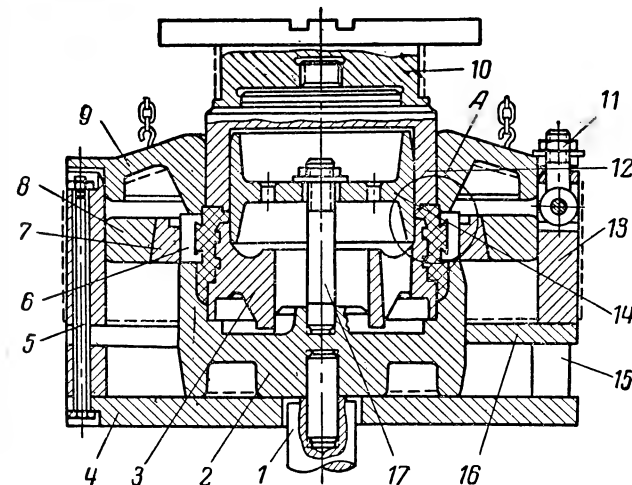


Рис. 63. Пресс-форма для щелевого прессования.

межуточных колонках 15 установлена плита 16 с обоймой 13. Матрица 2 скреплена с выталкивателем пресса 1 шпилькой. Обойма пресс-формы 13 связана с нижней плитой 4 болтами 5. Крышка 9 зажимает по торцам пакет 6 коллектора, стянутый плашками 7 в кольцо 8, а также оформляет верхнюю часть пластмассового корпуса коллектора. Крышка притягивается к обойме с помощью откидных болтов с гайками 11. Переходная втулка 14 служит внутренней стенкой загрузочной камеры. Она устанавливается в коллекторной втулке 3 и притягивается с помощью шпильки 17 к матрице 2. Верхняя часть пресс-формы, которая крепится к ползуну прес-

са, образуется верхней плитой с пуансонодержателем 10 и пуансоном 12. Пуансон представляет собой полый цилиндр и является поршнем загрузочной камеры, из которой при опрессовке масса передвигается в коллектор. Поднимать запорную крышку можно либо с помощью цепочки или троса, закрепленных на ней и накидывающихся в момент подъема на крючки, укрепленные на верхней плите пресс-формы, либо с помощью вилки, укрепленной на верхней плите, и стержня на крышке, сочленяемых во время подъема крышки цилиндрическим стержнем.

Предварительно подготовленную массу закладывают в несколько приемов в кольцевую щель между крышкой пресс-формы 9 и направляющей втулкой 14. Пользуясь методом «щелевого» прессования, удается на сравнительно маломощных прессах изготавливать корпуса коллекторов больших диаметров. Недостатком щелевых пресс-форм является необходимость увеличения высоты загрузочной камеры, с тем чтобы за один ход пресса можно было полностью пропрессовать всю довольно высокую таблетку. Если ход пресса не позволяет этого сделать, то приходится прессование вести в несколько приемов, используя таблетки меньшей высоты.

Обогревается пресс-форма (рис. 63) с помощью nichromовых нагревателей, которые укладываются внутрь корпуса пресс-формы в места, указанные на рисунке пунктиром. Для увеличения к. п. д. системы обогрева необходимо теплоизолировать снаружи обойму 13, нижнюю плиту 4 и плиту 16.

Вопросы, связанные с подогреванием пресс-формы при помощи элементов сопротивления, подробно рассмотрены в работе Н. Н. Лейкина [Л. 23]. Исходной величиной при расчете электронагревателей является вес пресс-формы, точнее вес ее частей, подвергаемых непосредственному обогреванию нагревателями. Верхняя и нижняя части пресс-формы снабжаются индивидуальными нагревателями, поэтому расчет ведется, исходя из веса каждой части. Количество тепла, необходимое для разогревания и поддержания заданной температуры проектируемой пресс-формы, определяется по формуле

$$Q = Gc_{ст}(t_2 - t_1),$$

где Q — количество тепла, ккал;

G — вес обогреваемой части пресс-формы, кг;

$c_{ст}$ — средняя удельная теплоемкость, ккал·кг/град
(для стали $c_{ст} = 1,22$);

t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры, °С.

Суммарная мощность нагревателей равна:

$$P = \frac{Q_{п}}{860\tau\eta},$$

где $Q_{п}$ — количество тепла, необходимое для разогревания всей пресс-формы, ккал;

τ — время разогревания, ч;

η — к. п. д. (рекомендуемое значение $\eta = 0,5 \div 0,6$).

Количество электронагревателей обуславливается весом, необходимой рабочей температурой, мощностью нагревателя и рядом конструктивных особенностей пресс-формы. Для приближенной оценки правильности выбранного числа нагревателей существует эмпирическая формула, предложенная на Ленинградском заводе «Электросила» [Л. 23]:

$$k = \frac{Gt}{F_{н}\tau},$$

где k — коэффициент, величина которого должна быть в пределах от 6 до 10;

t — рабочая температура пресс-формы, °С;

$F_{н}$ — суммарная площадь горизонтальной проекции нагревателей, см²;

τ — время нагревания пресс-формы, ч ($\tau \leq 3$).

Если подсчитанная величина k не укладывается в заданные пределы, необходимо изменять площадь нагревателей (число или габариты).

Пресс-форма, описанная выше, имеет съемный пуансон и съемную матрицу, вследствие чего ее можно перестраивать для опрессовки коллекторов различных размеров. Это имеет существенное значение в условиях серийного производства и значительно уменьшает стоимость оснастки. Рассмотренная пресс-форма предназначена для опрессовки не только коллектора двигателя преобразователя ДК-604, но и для коллектора генератора этого же преобразователя, диаметр которого меньше, а длина пластин больше.

На рис. 64 показана та же пресс-форма после перестройки ее на коллектор генератора преобразователя ДК-604. Запорная крышка 9 заменена крышкой 9а с уменьшенным внутренним диаметром,

матрица 2 с болтом 17 и переходной втулкой 14 — матрицей 2а, пуансон 12 — пуансоном 12а. Кроме того, чтобы не увеличивать диаметр сборочных колец 8, что значительно утяжелило бы их, в обойму 13 установлено промежуточное кольцо 18, имеющее в нижней части выточку для съема. Перед прессованием центральная ме-

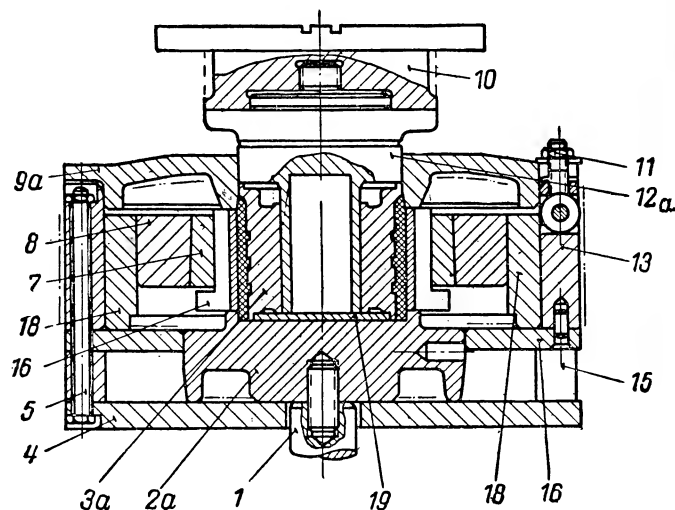


Рис. 64. Пресс-форма открытого типа.

таллическая втулка коллектора генератора 3а надевается на пуансон. Для того чтобы масса не проникла в вентиляционные каналы втулки коллектора, с торца к ней крепится шайба 19, которая с готового коллектора снимается. Обогревается пресс-форма таким же образом, как и пресс-форма по рис. 63.

Нужное количество массы укладывается в открытую загрузочную камеру пресс-формы; давление передается массе пуансоном 12а (рис. 64) с надетой на него коллекторной втулкой 3а. При таком прямом способе прессования объем загрузочной камеры получается большим, чем у пресс-формы, изображенной на рис. 63, что позволяет загружать массу в один прием даже при опрессовке сравнительно крупных коллекторов.

Вместе с тем надо иметь в виду, что прямое прессование в ряде случаев имеет отрицательные стороны. Так как пластмасса при этом должна течь вверх, в направлении, обратном движению пуансона, то при большой длине коллекторных пластин и применении пластмасс с длиноволокнистыми наполнителями заполнение крепежных выемок в верхней части пластины ухудшается. Может иметь

место неполная опрессовка массой крепежных выступов пластин, особенно при недостаточно подогретых пресс-форме и прессмассе.

Фиксация запорной крышки пресс-формы (рис. 65) оригинально решена заводом «Электромашина» (Прокопьевск).

Элементами, запирающими крышку, являются три клина 1, которые укреплены в верхней плите 2 и при опускании ползуна пресса

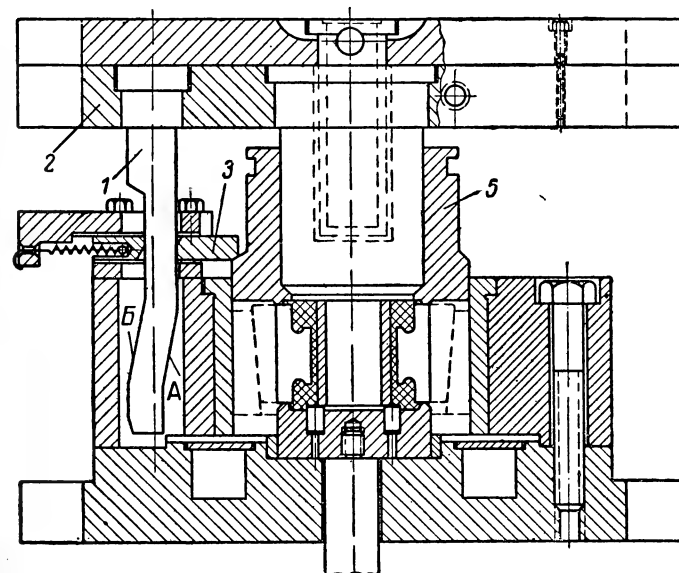


Рис. 65. Пресс-форма с клиновым запором верхней крышки.

зажимают крышку 5 с помощью трех запорных планок 3. При подъеме верхней плиты пресса те же клинья отводят запорные планки и освобождают крышку.

Для коллекторов с диаметром до 60—70 мм в условиях массового производства применяются многогнездные пресс-формы. Число гнезд обычно определяется мощностью пресса и размерами его стола. На рис. 66 показана типовая шестигнездная пресс-форма, разработанная Томским филиалом научно-исследовательского института ВНИИэлектромеханики.

На нижней плите 3 установлены две матрицы 4 с тремя гнездами в каждой для сборочных колец 5 с пакетами коллекторов. Матрицы снабжены рукоятками 12, с помощью которых они уста-

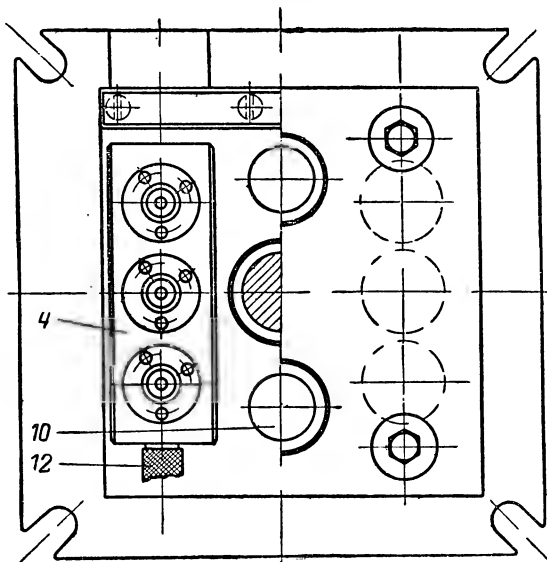
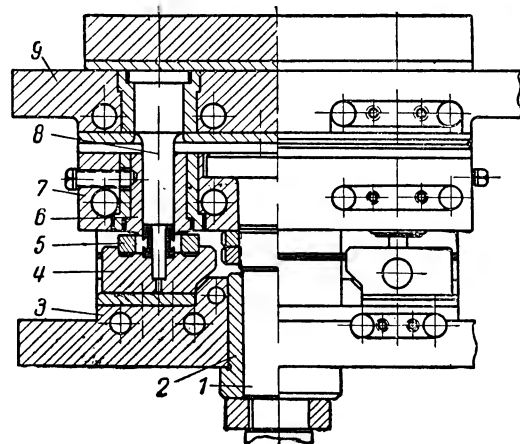


Рис. 66. Многогнездная пресс-форма.

навливаются в пресс-форму и снимаются с нее. Комплекты коллекторов зажимаются с помощью плиты 7 с шестью втулками 6, которые являются загрузочными камерами для пластмассы. Плита 7 фиксируется штоком 1, направляемым втулкой 2 и связанным с выталкивателем пресса. Верхняя плита 9 снабжена шестью пуансонами 8. Для обеспечения точного совпадения пуансонов с загрузочными ка-

мерами и матрицами предусмотрены две направляющие колонки 11, встроенные в нижнюю плиту. Обогревается пресс-форма трубчатыми сопротивлениями, которые вставляются в отверстия, высверленные в плитах 3, 7 и 9.

При небольших партиях мелких коллекторов могут применяться съемные пресс-формы. Эти пресс-формы имеют низкую производительность, так как при их

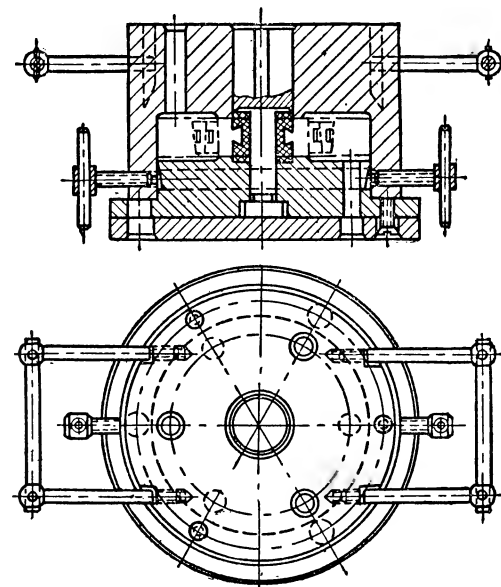


Рис. 67. Съемная литейная пресс-форма для мелких коллекторов.

использовании много времени затрачивается на ручные операции—сборку и разъем пресс-форм. Съемные пресс-формы могут выходить из строя из-за случайных перекосов и забоин, возникающих при малейшей небрежности при их сборке и разборке.

На рис. 67 изображена конструкция съемной литейной пресс-формы для малых коллекторов, пакет которых собран из отдельных пластин конструкции 1-1, и между этими пластинами нет изоляционных прокладок, а вместо прокладок запрессовывается пластмасса. Пластины набраны непосредственно в пресс-форму и удерживаются вкладышами только за наружную часть, в результа-

те чего происходят смещения и короткие замыкания между коллекторными пластинами по внутренним поверхностям.

Поверхности деталей пресс-форм, соприкасающихся с пресс-материалом (рабочие поверхности пуансонов, матриц, запорных крышек), должны тщательно шлифоваться и полироваться, для того чтобы избежать прилипания прессматериала, обеспечить глянцевую пленку на деталях, получить хороший внешний вид изделий. Поверхности деталей пресс-форм, соприкасающиеся с прессматериалом, рекомендуется выполнять с чистотой не ниже $\nabla 10$ по ГОСТ 2789-51, а для стекловолнистых прессматериалов типа АГ-4 $\nabla 12$. Эти поверхности необходимо хромировать и дважды полировать (до и после хромирования); рекомендуемая толщина слоя хрома 0,015—0,020 мм. Наилучшая твердость оформляющих деталей от 45 до 55 по Роквеллу.

При изготовлении коллекторов с аралдитовой изоляцией пакета пластин от корпуса вследствие исключительно высокой адгезии аралдитовых смол поверхности и стыки пресс-форм покрываются силиконом типа Si 80 000 или Pan Glase. Слой разделителя наносится кистью или пульверизатором и подсушивается при 40°C , а затем запекается в течение 6 ч при $t=200^\circ\text{C}$.

б) Выбор усилия прижима верхней крышки пресс-формы

В процессе прессования пластмассового корпуса в рабочей полости пресс-формы создаются значительные давления, что при неправильной конструкции пресс-формы может привести к прорыву массы наружу из рабочей полости, и при сборке пресс-формы на контактных поверхностях сопряженных деталей (матрицы, пакета коллектора, крышки) должны быть обеспечены необходимые удельные давления, способные противостоять усилиям, развивающимся в процессе прессования. Типовые конструкции пресс-форм, описанные выше, имеют верхние запорные крышки для коллекторов. Необходимое усилие прижима запорной крышки обеспечивается крепящими элементами: стяжными болтами или клиньями. Верхняя крышка должна обладать достаточной жесткостью.

Для коллекторов диаметром до 200 мм достаточно клинового прижима верхней крышки (рис. 68). При больших диаметрах коллекторов необходимо применять крепящие болты и рассчитывать усилие их затяжки.

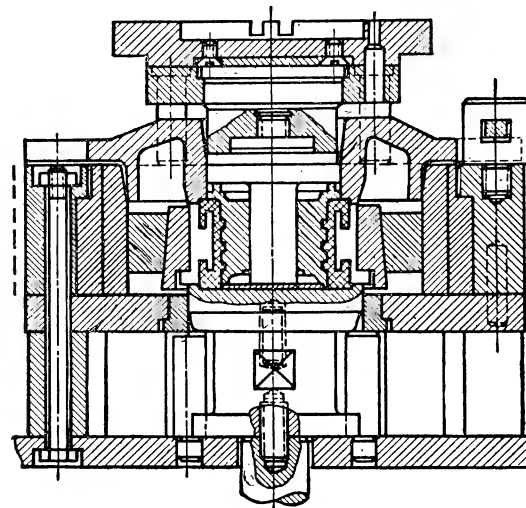


Рис. 68. Пресс-форма с клиновым прижимом верхней крышки.

Суммарное усилие при затягивании болтов P_6 должно обеспечивать постоянный контакт между пакетом коллектора и верхней крышкой пресс-формы, причем должно быть обеспечено гарантированное натяжение P_0 . Тогда

$$P_6 = P \frac{l_6}{nl_k} \frac{EF_m}{E_{ст}F_{ст}}. \quad (68)$$

В формуле (68) n — число болтов; $F_m = \pi D_k H \theta$ — площадь поперечного сечения пакета коллектора с учетом коэффициента заполнения коллектора медью; l_6 — длина активной части болта; l_k — длина коллекторной пластины; $P = P_0 + \Sigma P$, где ΣP — активные силы, появляющиеся в процессе прессования. В свою очередь гарантированное натяжение $P_0 = q_0 \pi D_k t_k$, где t_k — ширина контактной поверхности пакета коллектора и верхней крышки; $q_0 = 20 \div 50 \text{ кг/см}^2$; $F_{ст}$ — площадь поперечного сечения болта.

Расчет прочности болтов и их числа надо вести по суммарной силе.

Важное значение для предотвращения прорыва массы при прессовании корпуса имеет и выбор угла наклона обрамляющей поверхности крышки φ (см. рис. 63), так как от его величины зависит реакция N_B , стремящаяся приподнять крышку:

$$N_B = S q_0 \operatorname{tg} \varphi, \quad (69)$$

где $S = \pi D_k h_k$ — площадь обрамляющей поверхности крышки, h_k — высота обрамляющей поверхности.

Рекомендуемое значение $\varphi = 3 \div 4^\circ$. Даже незначительное увеличение угла наклона обрамляющей поверхности влечет за собой резкое увеличение силы N_B . Это может послужить причиной прорыва массы или привести к разрыву болтов и разрушению крышки.

в) Прессовое оборудование

При изготовлении коллекторов на пластмассе применяются гидравлические прессы; основные характеристики наиболее распространенных отечественных прессов приведены в [Л. 19].

При массовом производстве коллекторов на пластмассе возникает необходимость в специальных, более производительных прессах, в частности в прессах двойного действия.

22. ПРЕССОВАНИЕ КОРПУСА И ОБРАБОТКА КОЛЛЕКТОРА

а) Последовательность процесса прессования

Процесс прессования пластмассового корпуса коллектора включает следующие основные операции:

Подогрев пресс-формы. При любой конструкции пресс-формы ее надо предварительно подогреть до температуры, указанной в табл. 30. Эта температура зависит от марки пластмассы и от времени ее загрузки в пресс-форму. В случае, если загрузочная камера пресс-формы не вмещает всей навески массы и приходится ее закладывать и продавливать прессом в несколько приемов, то температуру пресс-формы необходимо иметь на $20\text{—}30^\circ\text{C}$ ниже указанной в табл. 30 с последующим поднятием ее уже после окончательного замыкания пресс-

Рекомендуемые режимы изготовления пластмассовых корпусов коллекторов

Параметры режима прессования	Единица измерения	Прессмасса		
		К-6	АГ-4	Термолит
Температура:				
пресс-формы	°C	170—180	130—140	130—140
пакета коллектора . .	°C	170—180	130—140	130—140
коллекторной втулки .	°C	180—190	140—150	130—140
армировочных колец .	°C	170—180	130—140	
предварительного подогрева массы	°C	70—80	60—70	
термообработки . . .	°C	170—180*	140—150	
Удельное давление при прессовании	кг/см²	300—350	450—500	
Время выдержки под давлением	мин/мм	1,5	1—1,5	1,5—2

* В отдельных случаях при прессматериале повышенной влажности для получения более высокого омического сопротивления температура термообработки может быть повышена до $180\text{—}200^\circ\text{C}$.

формы. Это делается для того, чтобы замедлить процесс полимеризации пластмассы до заполнения всей пресс-формы.

Подогрев деталей коллектора. Детали коллектора — пакет в сборочном кольце, втулка коллектора, армировочные кольца — также подогреваются перед их загрузкой в пресс-формы. Это улучшает качество изделия и сокращает технологический процесс опрессовки.

Сборка пресс-формы. Матрица пресс-формы очищается от остатков прессмассы и продувается сжатым воздухом. Пакет коллектора в сборочном кольце и коллекторная втулка устанавливаются в пресс-форму, после чего опускается верхняя плита прессы и крепится запорная крышка. В случае, когда коллекторная втулка используется как поршень, передающий давление на массу, она в нагретом состоянии вместе с заглушкой надевается на пуансон перед прессованием пластмассы.

Подогрев и загрузка массы. Перед загрузкой массы следует убедиться, что в рабочей полости пресс-формы выровнялась температура, и подогреть навеску массы до температуры, указанной в табл. 30. Подогретая масса приобретает пластичность, благодаря чему форма

лучше заполняется, а прессование облегчается. Кроме того, из пластмассы при подогреве перед самым прессованием удаляются летучие вещества, в частности влага, что повышает физико-механические и диэлектрические свойства отпрессованных деталей.

В процессе предварительного подогревания материал должен быть прогрет по всей толщине. Неравномерное прогревание прессматериала вызывает брак отпрессованных изделий. Нагревание должно занимать возможно более короткое время; увеличение времени нагревания ухудшает прессовочные свойства материала, в первую очередь понижая текучесть. Операция выполняется в электрических печах или на установках для подогревания диэлектриков токами высокой частоты. Наиболее полноценным является подогревание прессматериала токами высокой частоты.

Мощность генератора ТВЧ пропорциональна весу подогреваемого материала. В настоящее время широко используются ламповые генераторы мощностью 0,65—2,5 квт, с помощью которых можно подогреть за 1 мин до 60—70°С от 200 до 750 г материала. Это позволяет без особых затруднений изготавливать коллекторы, навеска массы для которых не превышает 3—4 кг. Использование подогрева массы токами высокой частоты при изготовлении коллекторов больших диаметров требует генераторов большей мощности.

Навеска массы определяется расчетным путем и уточняется при изготовлении опытной партии коллекторов. Из-за колебаний удельного веса пластмассы навеску следует брать с некоторым запасом, чтобы не было недопрессовок. Способ подготовки массы к прессованию зависит от конструкции коллектора и типа пресс-формы.

Прессование корпуса. Навеска массы целиком или по частям закладывается в загрузочную камеру и продавливается пуансоном в рабочую часть пресс-формы. Продолжительность замыкания пресс-формы устанавливается практически, исходя из результатов заполнения коллектора массой. При быстром замыкании пресс-формы возможны смятие крепежных выступов пластин пакета, плохое заполнение пресс-формы и прорыв массы наружу. При больших навесках массы необходимо применять подпрессовки для удаления газов из рабочего

объема пресс-формы. Усилие прессования зависит от конструкции и размеров пресс-формы, а также от удельного давления на массу; рекомендуемые удельные давления приведены в табл. 30. Время выдержки отпрессованного коллектора в пресс-форме зависит от максимальной толщины пластмассового корпуса и принятого способа подготовки массы к прессованию. Его следует уточнять опытным путем при изготовлении опытной партии коллекторов.

б) Термообработка

После опрессовки и удаления из пресс-формы коллектор в сборочном кольце помещают в печь или термостат для термообработки. Это необходимо для повышения механических и электрических показателей пластмассового корпуса коллектора. Время выдерживания при заданной температуре определяется для каждого типоразмера коллектора и марки массы опытным путем. На основании измерений определяется время, после которого сопротивление изоляции практически перестает нарастать и которое следует считать оптимальным временем выдерживания для данного типоразмера коллектора и выбранной марки пластмассы.

После термообработки остывший коллектор освобождается от сборочного кольца и поступает на слесарную обработку (удаление пластмассового облоя и зачистка петушков от смолы и массы). Места зачистки облоя покрываются бакелитовым лаком, и коллектор запекается. У коллекторов без центральной втулки посадочное отверстие калибруется протяжкой¹.

Рабочая часть коллекторов протачивается до получения гладкой цилиндрической поверхности заданного диаметра. При этом необходимо обращать особое внимание на то, чтобы не было царапин и других повреждений на пластмассовом корпусе. В случае, если часть пластмассового корпуса подвергается механической обработке, необходимо обработанные поверхности покрыть бакелитовым лаком и запечь.

¹ Применять протяжки при значительном количестве коллекторов и массе АГ-4 нецелесообразно из-за быстрого их затупления. В этом случае лучше калибровать отверстие коллектора сразу же после прессования с помощью оправки.

Технология изготовления коллекторов на пластмассе с металлическим корпусом отличается от описанного выше процесса, так как в этих случаях применяются литьевые смолы типа аралдит, не требующие высоких давлений прессования.

Изготовление такого рода коллекторов более трудоемко, чем коллекторов с корпусами из пластмассы.

Пакет коллекторных пластин, собранных в кольцо, подвергается механической обработке. Внутри пакета на токарном станке вытачивается винтовой ласточкин

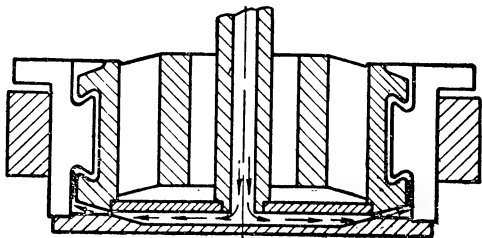


Рис. 69. Схема заливки коллектора.

хвост. Размеры и профиль ласточкина хвоста проверяются шаблонами. Обработанная поверхность тщательно очищается от заусенцев. Пакет коллекторных пластин навинчивается на втулку коллектора, которая имеет выступающий винтовой ласточкин хвост несколько меньших размеров.

При установке пакета и втулки в приспособление для заливки между стенками пакета пластин и коллекторной втулки образуется равномерный зазор, равный 2—3 мм (рис. 69).

Процесс изготовления коллекторов на смоле аралдит, применяемый на австрийских заводах фирмы Сименс-Шуккерт, имеет следующие особенности: поверхности коллектора и применяемого при литье приспособления, которые не должны сцепляться с аралдитом, обезжириваются и покрываются отделительной пастой. Аралдит, получаемый в кусках или в виде порошка, засыпают в бак емкостью около 15 л и расплавляют, нагревая до температуры около 100° С. Затем к смоле добавляется в нужной пропорции хорошо измельченный кварцевый песок. Дозировка песка должна быть точной,

Таблица 31

Возможные дефекты коллекторов с пластмассовыми корпусами

Дефекты	Причины дефектов	Способы предупреждения и устранения
Винтовая деформация пакета коллекторных пластин	Недостаточное удельное давление опрессовки пакета пластин в сборочном кольце (недостаточный арочный распор). Чрезмерное удельное давление при прессовании пластин	Правильный выбор удельных давлений прессования пакета пластин в сборочном кольце и прессования пластмассы. Контроль усилия прессования пакета пластин и пластмассы
Торцовое биеение пакета коллекторных пластин	Перекас сборочного кольца при сборке пакета	Устранение перекаса кольца при сборке пакета
Радиальное биеение	Разностенность кольца и плашек. Смещение обоймы пресс-формы относительно оси матрицы или пуансона. Срез центрирующих штифтов обоймы	Проверка правильности центровки пресс-формы. Устранение разностенности у колец и плашек
Недостаточное заполнение массой рабочего объема пресс-формы	Навеска мала. Прорыв массы. Недостаточная ее текучесть. Отклонение от оптимальных параметров прессования	Уточнение навески. Увеличение усилия затяжки запорной крышки. Правильное хранение прессматериалов и подготовка их к прессованию. Предварительный подогрев материала. Точное соблюдение режимов прессования

Дефекты	Причины дефектов	Способы предупреждения и устранения
Прорыв массы при прессовании из пресс-формы наружу	Большой уклон обрамляющей части крышки. Недостаточное закрепление пакета в пресс-форме. Выступание части пластин пакета по торцу коллектора	Устранение конструктивных недостатков крышки пресс-формы. Правильный выбор усилия затяжки пресс-формы. Проверка правильности сборки пакета
Пониженная механическая прочность (трещины или разрушения пластмассового корпуса, смещение пластин при разгоне)	Недостаточное заполнение • массой крепежных поверхностей коллектора. Отгибание крепежных выступов пластин. Отклонения качества прессматериала. Отклонения от оптимальных технологических режимов. Завышенный арочный распор. Неправильная конструкция крепежной части пластины. Недостаточная толщина пластмассового корпуса. Тепловой удар при пайке методом окупания.	Пересмотр конструкции крепежных выступов пластины и пластмассового корпуса. Увеличение расстояний между крепежными выступами пластин (в случае многократного хвоста) и между соседними пластинами (в случае продольного хвоста). Правильный подбор способа подготовки массы к прессованию. Введение предварительного подогрева массы токами высокой частоты. Контроль поступающих прессматериалов. Соблюдение заданных режимов прессования
Замыкания между пластинами	Неудовлетворительная очистка пластин перед сборкой. Металлические включения в пластмассе. Попадание металлической пыли при сборке пакета. Заусенцы на медных пластинах	Промывка пластин и их очистка до сборки. Переход на пластмассы, имеющие незначительные металлические включения. Галтовка пластин.

Дефекты	Причины дефектов	Способы предупреждения и устранения
Замыкания пластин армировочным кольцом	Металлические включения в пластмассе. Недостаточно прочная фиксация неизолированных армировочных колец	Переход на пластмассы, имеющие незначительные металлические включения. Уточнение размеров изоляционных прокладок. Применение изоляционных скоб
Матовость или тусклые пятна на поверхности корпуса	Плохое состояние поверхностей пресс-формы. Нарушение режимов прессования. Некачественный прессматериал	Хромирование и полирование поверхностей оформляющих деталей пресс-форм. Очистка пресс-форм от остатков прессматериала. Соблюдение режимов прессования и контроль прессматериала
Вздутия, волнистость, пузыри на корпусе	Скопление газов, паров и воздуха в прессматериале. Повышенная влажность прессматериала	Неоднократный подъем пуансона перед окончательным замыканием пресс-формы в процессе прессования. Предварительное подогревание прессматериала. Подсушивание прессматериала на воздухе

Таким образом при нарушении ее изделие получается непрочным. В таком виде заливочная смесь хранится в баке и не применяется, для того чтобы предупредить затвердевание или изменение вязкости.

Перед самой операцией заливки формы с коллектором в заливочную смесь добавляется катализатор. К этому моменту форма с коллектором в специальной вакуумной печи подогревается до температуры около 100°C . Коллектор в печи помещается таким образом, чтобы зона заливки находилась под воронкой, имеющейся в верхней части печи. Затем воронка заполняется заливочной смесью и в печи создается вакуум. Под вакуумом и происходит заполнение коллектора заливочной смесью, количество которой задается при разработке конструктивных чертежей с 10-процентным запасом. Продолжительность заливки и выдержки в вакуумной печи составляет 15—20 мин. После этого вакуумную печь открывают, извлекают оттуда форму и помещают ее в обычную печь, где в течение 6—10 ч снижают первоначальную температуру до окружающей.

Необходимо отметить, что при работе с аралдитовыми компаундами в некоторых случаях наблюдаются раздражения кожи и кожные заболевания. Необходимы поэтому специальные предохранительные меры.

Возможные дефекты в процессе освоения производства коллекторов на пластмассе. Эти дефекты могут появляться в основном из-за отклонений в качестве пресс-материалов, технологии прессования и термообработки, а также в расчетах и способах подготовки массы к прессованию (табл. 31).

23. ИСПЫТАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

У готовых коллекторов проверяются электрическая и механическая прочность¹.

Механическая прочность определяется «разносом»

¹ При освоении нового типа коллектора до окончательной отработки технологического процесса его изготовления рекомендуется испытание электрической прочности производить до механической обработки, с тем чтобы можно было использовать медные пластины или миканитовые прокладки при наличии замыкания между пластинами. Это же относится к коллекторам на массе К-6, железистые включения которой иногда приводят к замыканию между пластинами.

(разгон до разрушения) или разгоном, т. е. вращением с предельно допустимой для данного типоразмера коллектора скоростью вращения. На разнос коллекторы испытываются при отработке образцов новых конструкций и отладке технологии, чтобы определить, насколько правильно разработана конструкция и подобраны параметры технологического процесса. До «разноса» также доводятся коллекторы при типовых испытаниях, целью которых является проверка стабильности производства и постоянства характеристик прессматериалов. Разрушение коллектора должно происходить при скорости вращения, превышающей эксплуатационную не менее чем на 50%, и при температуре коллектора $130 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Это соответствует приложению центробежных сил, не менее чем вдвое превосходящих эксплуатационные. При испытаниях на «разнос» без подогревания коллектора его разрушение должно наступать при скорости, превышающей эксплуатационную не менее чем в 2 раза, т. е. коллектор нагружается силами, вчетверо большими, чем центробежные силы при эксплуатации. Если при типовых испытаниях окажется, что разрушение коллектора произошло при меньшей скорости, то необходимо для выяснения причины снижения механической прочности временно приостановить изготовление коллекторов до устранения этих причин и получения удовлетворительных результатов повторных испытаний. Частота проведения типовых испытаний определяется постоянством их результатов, а также фактическим запасом прочности коллектора. Во всяком случае в условиях серийного производства испытания на «разнос» следует производить не реже, чем 1 раз в месяц.

Разгон коллекторов проводится при контрольных испытаниях. Предприятия, выпускающие коллекторы на пластмассе, проводят контрольный разгон при скорости вращения, превышающей номинальную на 20—100%. Некоторая часть заводов проводит это испытание для каждого коллектора, на других это делается выборочно. При правильно организованном производстве коллекторов с пластмассовыми корпусами требуется сочетать типовые испытания с контрольными. В тех случаях, когда запас прочности нагретого коллектора находится в пределах 3—4 и соответственно в холодном состоянии 4—5,5, средние и крупные коллекторы разго-

няются каждый до скорости, которая превышает номинальную в 1,5 раза, и без подогревания. Микроколлекторы и малые коллекторы проверяются выборочно в количестве 2—5% партии. Если же запас прочности этих коллекторов превышает 4-кратный в горячем состоянии или 5,5-кратный в холодном состоянии, то контрольных испытаний их разгоном не проводят и ограничиваются только периодическими типовыми испытаниями на «разнос»; средние коллекторы диаметром до 250 мм испытываются выборочно. Коллекторы, у которых диаметр выше 250 мм, и коллекторы особо ответственных машин подвергаются 100-процентной проверке. После механических испытаний коллектор обязательно клеймится работником ОТК.

Большие запасы прочности, закладываемые в коллекторы с пластмассовыми корпусами, вызваны отсутствием точных данных о длительной прочности и стабильности свойств пластмасс, а также возникновением дополнительных напряжений в пластмассовом корпусе при пайке обмоток с коллекторными пластинами.

Испытание механической прочности коллектора сводится к вращению его с повышенной скоростью на специальных установках. Установка для разгона коллекторов должна обеспечивать плавное нарастание скорости вращения и иметь прочный защитный кожух, способный выдержать удары в случае разрыва коллектора. Разгонное устройство следует снабжать подогревателем.

Коллекторы с центральной металлической втулкой испытываются на валу разгонной установки; коллекторы, не имеющие этой втулки, испытываются только после посадки их на вал якоря. Проверке подвергается каждый коллектор без центральной втулки. Испытания проводятся на специальном стенде, позволяющем вращать вал якоря с напрессованным пакетом железа и коллектором.

Механические испытания коллекторов диаметром до 100 мм проводятся на пневматической установке, изображенной на рис. 70, которая позволяет получать скорости до 20 000 об/мин.

На рис. 71 показана установка для разгона коллекторов диаметром до 500 мм со скоростью вращения до 5 000—6 000 об/мин. В установку встроен тахометр для

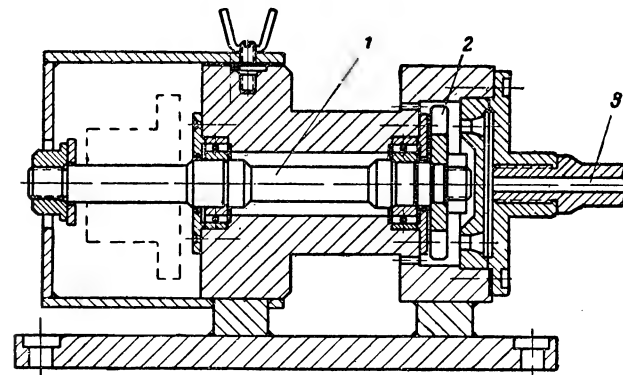


Рис. 70. Пневматическая разгонная установка.
1 — вал с коллектором; 2 — рабочее колесо турбины; 3 — подвод воздуха.

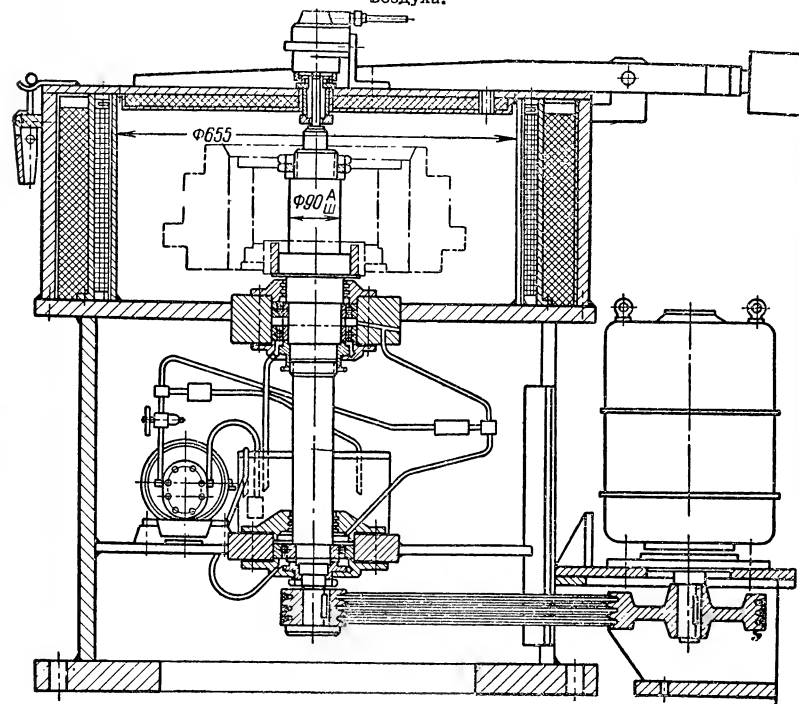


Рис. 71. Стационарная разгонная установка для испытания коллекторов больших диаметров.

дистанционного измерения скорости вращения коллектора¹.

Время разгона в зависимости от размеров коллекторов приведено в табл. 32.

Таблица 32

Диаметр коллектора . . .	До 100 мм	От 100 до 200 мм	От 200 до 500 мм
Время разгона, мин . . .	1,5	3	5

Коллектор считается годным, если после разгона не обнаружено признаков деформаций, смещения пластин, трещин, биения более 0,03 мм, вспучиваний и других дефектов.

Испытания электрической прочности коллекторов на пластмассе производятся на тех же испытательных стендах, что и обычных коллекторов с металлическим корпусом, и теми же испытательными напряжениями. Они проводятся обычно после испытания механической прочности коллектора.

24. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ С ПЛАСТИНАМИ ИЗ ЦЕЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ

а) Изготовление пакета коллектора из кольца

Заготовки, подобные изображенным на рис. 22, можно выполнять из дисков методом обратного холодного выдавливания на горизонтальном или обычном прессе [Л. 51].

На рис. 72,а показаны части пресса и комплект инструмента для образования кольцевых заготовок с внутренними зубцами обратным выдавливанием. Разрезные конические втулки 1 и 2 центрируют направляющую втулку 3 и пуансон 4; такая система обеспечивает точную центровку. Съем деталей с пуансона обеспечивается плитой 5, снабженной сменной втулкой 6. Матрица штампа выполнена разрезной и состоит из двух частей, обозначенных на рисунке цифрами 7 и 8. Вытал-

¹ Для разгона крупных коллекторов удобнее использовать консольные разгонные устройства с установкой коллекторов на оправке. Это дает возможность провести предварительную балансировку, контрольную обточку и проверку биения.

киватель 9 несколько выступает из нижней части матрицы 8, что устраняет затекание металла при штамповке в зазор. Штамп имеет одну особенность: накладка 10 снабжена режущим штырьком из твердого сплава, который наносит риску на наружной цилиндрической части заготовки, являющуюся ориентиром при дальнейшей обработке заготовки. Это риска отчетливо видна

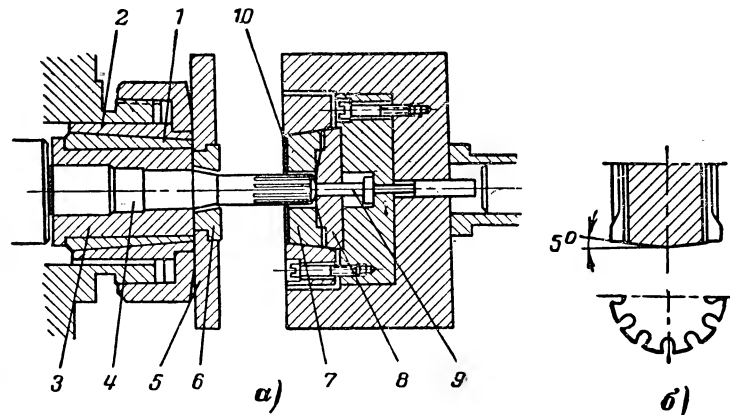


Рис. 72. Оснастка для обратного выдавливания заготовок на горизонтальном прессе.

а — штамп для обратного выдавливания; 1 и 2 — разрезные втулки; 3 — направляющая втулка; 4 — пуансон; 5 — плита; 6 — сменная втулка; 7 и 8 — разрезные матрицы; 9 — выталкиватель; 10 — накладка; б — пуансон для обратного выдавливания.

на рис. 22. На рис. 72,б показана рабочая часть пуансона для обратного выдавливания. При отсутствии горизонтальных высечных прессов для выдавливания заготовок пакетов коллекторов можно использовать также обычные кривошипные прессы. В этом случае конструкция штампа может быть аналогичной изображенной на рис. 73. Этот плунжерный штамп также предназначен для обратного холодного выдавливания, но не дисковой заготовки, а кольцевой. В верхней части матрицы 7 и в шайбе 10, играющей роль съемника, сделаны канавки для свободного прохождения зубьев пуансона. После выдавливания зубьев заготовки остаются в матрице, откуда они удаляются через боковые окна.

Подобного рода зубья могут быть образованы также методом прямого выдавливания, т. е. методом холод-

ной штамповки, при котором металл течет по ходу движения пуансона. На рис. 74 показана конструкция штампа для прямого холодного выдавливания кольцевой заготовки. Деталь после штамповки может оста-

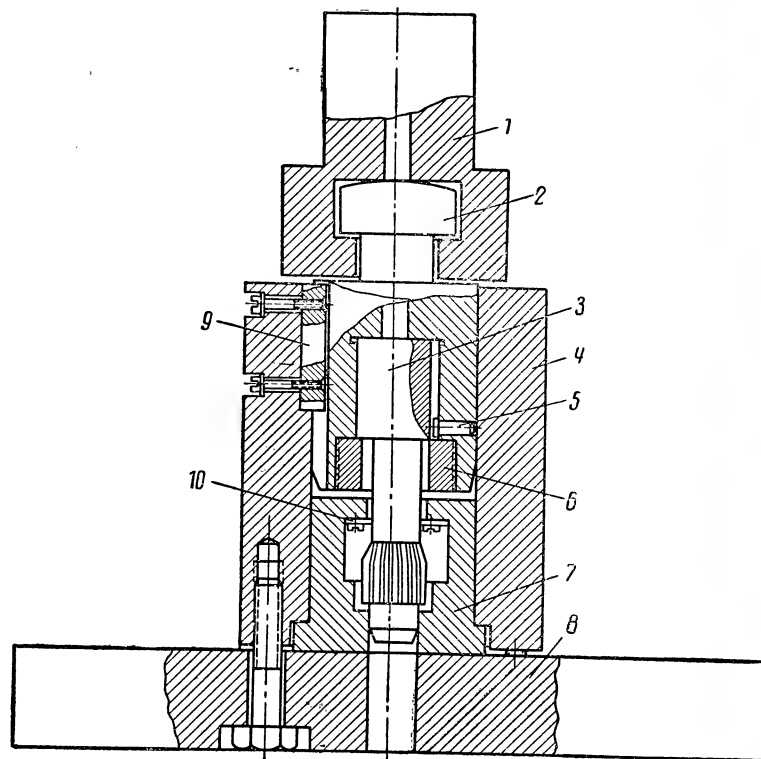


Рис. 73. Плунжерный штамп для обратного выдавливания на кривошипном прессе.

1 — хвостовик; 2 — держатель пуансона; 3 — пуансон; 4 — корпус; 5 — штифт; 6 — гайка; 7 — матрица; 8 — основание; 9 — шпонка; 10 — шайба (съемник).

ваться на пуансоне, поднимаясь с ним, или оставаться в матрице. Недостатком конструкции этого штампа (в случае использования его на кривошипных прессах) является отсутствие направляющих колонок.

Может быть применен также метод комбинированного выдавливания, когда металл течет одновременно и в направлении движения пуансона и в направлении, про-

тивоположном движению. Это достигается применением штампа, имеющего два одинаковых пуансона, один из которых закреплен в верхней части прессы, а другой — в нижней. Весьма затруднительной является точная центровка этих пуансонов. Малейшее несовпадение осей

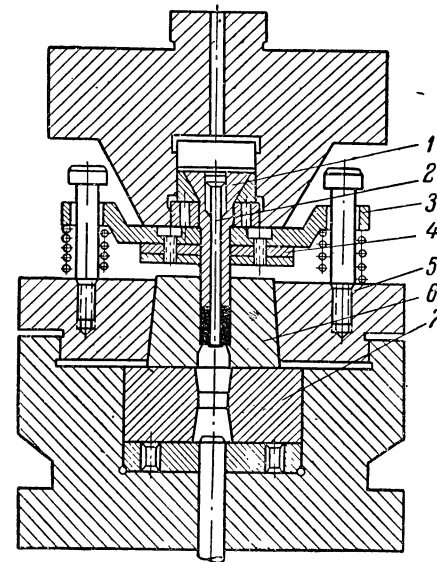


Рис. 74. Штамп для прямого выдавливания заготовок на вертикальном прессе.

1 — втулка; 2 — пуансон; 3 — сбрасыватель; 4 — сменные кольца; 5 — обойма; 6 — матрица; 7 — направляющая втулка.

или зубьев верхнего и нижнего пуансонов не дает возможности получить правильную форму заготовки коллектора. Это обстоятельство служит главной причиной затруднений при использовании метода комбинированного холодного выдавливания для изготовления заготовок пакетов коллекторов.

Стойкость пуансонов фактически определяет экономичность способа холодной штамповки выдавливанием заготовок коллекторов и соответствует 1000—15000 деталей без перешлифовки. При этом следует учесть, что пуансоны могут частично выходить из строя из-за выкрашивания зубьев. Установлено, что стойкость пуансонов

при штамповке меди на кривошипных прессах оказалась выше стойкости пуансонов, работающих на гидравлических прессах.

В штампованных заготовках, предназначенных для коллекторов с продольными наклонными крепежными выступами, подобными изображенному на рис. 23, после образования прямых зубьев производится загибание их в специальном штампе (рис. 75). Описан этот процесс в работе [Л. 26].

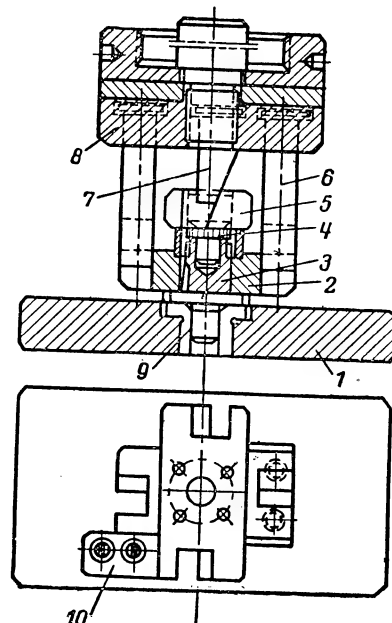


Рис. 75. Штамп для загибания внутренних выступов заготовок.

1 — плита; 2 — нижняя поворотная планка; 3 — нижний пуансон; 4 — верхний пуансон; 5 — верхняя поворотная планка; 6 и 7 — поворотная планка; 8 — держатель; 9 — втулка; 10 — упор.

хвосты; одновременно в заготовке высаживается кольцевое доннышко, а также калибруется наружный диаметр. Эта операция выполняется на гидравлическом прессе. При движении вдоль заготовки пуансон срезает некоторую часть металла с вершины зубьев, а часть металла развальцовывает, образуя, как это показано на рис. 24, утолщения, которыми пластины удерживаются в пластмассе корпуса.

При изготовлении пакета пластин из цельной заготовки имеется возможность продороживания пластмассы между медными пластинами путем фрезерования заменить высокопроизводительным протягиванием. Продороживание пластмассы осуществляется при этом одновременно с разделением пластин друг от друга. Так как пазы между коллекторными пластинами в кольцевых заготовках выдавлены пуансонами с точным расположением зубьев по окружности, то разделение пластин и одновременное продороживание пластмассы могут быть осуществлены протяжкой. В этих коллекторах точное расположение зубьев по окружности не нарушается ни колебаниями в толщине и усадке изоляционных прокладок, ни колебанием размеров пластин, как это имеет место в коллекторах, пакет которых собирается из отдельных пластин.

Для разделения пластин и одновременного продороживания коллектор устанавливается в гнездо первой протяжки, изображенной на рис. 77. При этом базовая риска на наружной поверхности заготовки, находящаяся на середине одного из изоляционных промежутков между медными пластинами, совмещается с базовой риской, нанесенной на протяжке. Затем в коллектор вставляется стержень и плунжером вертикально гидравлического пресса протягиваются пазы. Эта операция повторяется, причем используется вторая протяжка, диаметр которой на 0,3 мм меньше диаметра первой.

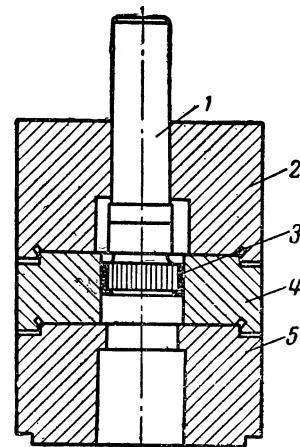


Рис. 76. Штамп для осаживания концов продольных Т-образных крепежных выступов.

1 — пуансон; 2 — направляющее кольцо; 3 — заготовка пакета коллектора; 4 — калибровочная матрица; 5 — основание.

б) Изготовление металлокерамических заготовок

Металлокерамические кольцевые заготовки можно изготовлять или в виде гладкого кольца, в котором затем образуются зубья (крепежные выступы) описанные

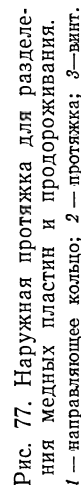


Рис. 77. Наружная протяжка для разделения медных пластин и продоруживания. 1 — направляющее кольцо; 2 — протяжка; 3 — винт.

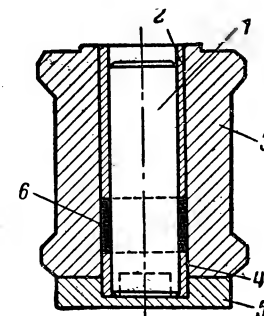


Рис. 78. Пресс-форма для
металлокерамических
кольцевых заготовок.
1 — стержень; 2 — верхний
пуансон; 3 — матрица; 4 —
нижний пуансон; 5 — основа-
ние; 6 — металлокерамиче-
ская заготовка.

ми выше способами штамповки, или же заготовка прессуется одновременно с зубьями.

Металлокерамические кольца прессуются из медного порошка марки ПМ-1 или ПМ-2 по ГОСТ 4960-49, полученного электролитическим осаждением. Прессование в серийном и массовом производствах следует вести на специальных прессах-автоматах с автоматической дозировкой порошка. Навеска порошка для кольца каждого размера коллектора уточняется при отладке технологического процесса на опытной партии. Удельное давление прессования должно составлять около $4\,000\text{--}5\,000\text{ кг/см}^2$.

На рис. 78 изображена составная пресс-форма, в которой можно прессовать металлокерамические заготовки в условиях мелкосерийного и опытного производств.

Отпрессованные заготовки колец имеют твердость до 30 единиц по Бринеллю. Затем эти заготовки спекаются в печах при температуре $1000 \pm 20^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 1 ч и последующим постепенным охлаждением до температуры 100°C . Спекание проводится в среде диссоциированного аммиака или осушенного водорода. При спекании происходит некоторая усадка заготовок, что необходимо учитывать при конструировании рабочих частей пресс-формы, увеличивая соответствующие размеры против номинальных.

Необходимо учесть некоторые особенности, присущие металлокерамической заготовке после спекания: форма и размеры ее не только изменяются из-за усадки, но и имеет место значительная поводка. Поэтому после спекания заготовки необходимо ее калибровать. При этом металлокерамической заготовке не только придаются окончательная форма и размеры, но и достигается максимальная степень уплотнения металла, а следовательно, и более высокая твердость и износостойкость коллекторных пластин. По данным Химико-металлургиче-

ского института АН Казахской ССР [Л. 43] после всестороннего обжигания (калибрования) заготовки профильным пуансоном в той же пресс-форме, в которой она прессовалась из порошка, твердость пластин возрастает до 100 единиц по Бринеллю.

Металлокерамические заготовки для коллекторов с пластинами, имеющими продольные Т-образные крепежные выступы, калибруются в штампе для осаждения концов крепежных выступов, описанном выше.

При изготовлении коллектора из металлокерамической заготовки с пластинами, имеющими клиновидный профиль поперечного сечения (рис. 25), в пакете необходимо выточить ласточкин хвост. Вытачивание канавок углового профиля на торцах металлокерамической заготовки с зубцами вызывает некоторые затруднения, так как при ударах пластин по резцу они могут деформироваться, особенно в тонкой части. Поэтому во время токарной обработки ласточкиных хвостов необходимо расклинивать зубцы так, как это делается при обтачивании некоторых высоких петушков после припайки к ним секций якоря. Можно избежать вытачивания ласточкиных хвостов, прессуя кольцевую заготовку с конусами. Однако такой способ требует изготовления сложной пресс-формы с составными пуансонами.

в) Изготовление пластин коллектора гальваническим способом

Технологический процесс изготовления коллекторов с пластмассовыми корпусами и пластинами, образованными путем наращивания их гальваническим способом [Л. 22], должен обеспечить гальваническое осаждение меди на основу из непроводящего материала. Корпус коллектора прессуется из пластмассы обычным порядком. Облой зачищается до термообработки; центральное отверстие под вал сверлится после термообработки. Далее корпус обезжиривается в растворе тринатрийфосфата (150 г/л) при температуре 70—80°С в течение 5—8 мин и промывается в холодной проточной воде. Затем корпуса подвергаются сенсибилизации — обработке в растворе двухлористого олова (10—20 г/л) с добавлением соляной кислоты до получения прозрачного раствора. Температура обработки комнатная, время 10—15 мин, после чего следует тщательная промывка

в дистиллированной воде. Раствор необходимо хранить в темной посуде. При появлении желтой мути он становится непригодным и его следует заменить свежим раствором. В процессе обработки корпуса двухлористым оловом происходит адсорбция его поверхностью пластмассы. За сенсибилизацией следует активирование поверхности в 1-процентном растворе азотнокислого серебра при комнатной температуре в течение 1—2 мин. Этот раствор также необходимо хранить в темной посуде. Обработка в растворе азотнокислого серебра каталитически действует на последующий процесс образования меди.

После активирования коллекторные корпуса переносятся без промывки в ванну для химического меднения с раствором: медь углекислая — 180 г/л, глицерин дистиллированный — 180 г/л и 20-процентный раствор едкого натра — 1 000 мг/л. Перед самым началом омеднения корпусов в ванну с указанным выше раствором вводится 30-процентный раствор формалина из расчета 120—150 мг формалина на 1 л раствора. Химическое меднение длится 5 мин при комнатной температуре, после чего следует промывка в холодной воде. Последующее усиление слоя меди и наращивание пластин производятся на стержнях из латуни или меди, на которые насаживаются пластмассовые корпуса, отделенные друг от друга текстолитовыми прокладками. Наращивание электролитической меди производится в ванне с сернокислым электролитом (сернокислая медь — 250 г/л, серная кислота — 50 г/л). Процесс ведется при комнатной температуре с постоянным перемешиванием раствора при плотности тока 1,4—2,1 а/дм². Периодически следует замерять детали. Штанги по мере загрязнения необходимо зачищать шкуркой; при накоплении шлама следует фильтровать раствор. Для наращивания слоя меди толщиной 2,2—2,5 мм по диаметру коллектора требуется до 120 ч.

г) Изготовление коллектора с пакетом из полосы

Полосовые заготовки для коллекторов (по рис. 27) отрезаются с небольшим припуском для зачистки торцов. Зубцы на заготовке нарезаются на протяжном станке последовательно двумя протяжками для обработки плоскостей. Чтобы избежать возможных коротких

замыканий между пластинами в готовом коллекторе, необходимо обеспечить удаление с заготовки заусенцев и стружки. Для этого с краев и задней поверхности заготовки снимаются заусенцы на станках с наждачной лентой, а затем очищаются торцы и кромки зубьев на станках с круглыми металлическими щетками.

Последующими операциями являются выгибание крепежных выступов пластин и свертывание заготовки в кольцо. Зубья загибаются на прессе пуансоном, имеющим наборы правых и левых зубцов скругленной формы, которые в продольном направлении смещены в сторону по отношению к зубьям заготовки. При движении пуансона внутрь заготовки зубья загибаются, приобретая нужную форму. Свертываются заготовки в кольцо на специальном приспособлении. Эта операция не требует больших усилий, так как заготовка легко сгибается по тонким перемычкам между зубьями. Предварительно подогретые кольца опрессовываются пластмассой в многогнездных пресс-формах. После термообработки центральное отверстие коллектора калибруется протяжкой и коллектор для разделения пластин протачивается снаружи; затем на специальном станке продоруживается пластмасса между пластинами коллектора.

Изготовление из полосы коллекторов (по рис. 28) в основном ведется по тому же технологическому процессу, что и для рассмотренной конструкции. Исключение составляют лишь способы образования зубьев и разделения пластин. При изготовлении на медной полосе прямых зубьев применяется одна протяжка для образования впадин, а не две, как при ступенчатых зубьях. Пакет разделяется на отдельные пластины не протачиванием, а фрезерованием или наружным протягиванием. Выгибание этой полосовой заготовки в кольцо требует более значительных усилий, чем при заготовке со ступенчатыми зубьями.

При изготовлении коллекторов с пакетом пластин, свернутым из полосы с рогообразными крепежными выступами (по рис. 29), берется полоса, ширина которой больше длины коллекторной пластины на величину технологического припуска по торцам коллектора. Пазы в полосе выдавливаются при помощи клиновидного пуансона. Угол при вершине пуансона зависит от диаметра и числа пластин коллектора. При штамповке пазов пол-

зун пресса регулируется таким образом, чтобы внизу в полосе оставалась перемычка толщиной 0,8—1 мм, соединяющая заготовки пластин.

Рогообразные крепежные выступы на пластинах образуются фасонными резцами на специальных станках с поступательным главным движением. Резец должен иметь профиль режущей кромки, соответствующий поперечному сечению крепежного выступа. Пластина должна устанавливаться под некоторым углом, что обеспечивает заданный наклон при движении резца к центру пластин. Опрессование пластмассой свернутой в кольцо заготовки выполняется как обычно. Далее коллектор протачивается поверху; при этом стачивается наружный слой меди вместе с перемычками, и таким образом пластины отделяются друг от друга. Затем продоруживается пластмасса между пластинами.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

Как было показано при описании конструкций коллекторов на пластмассе, их технические преимущества по сравнению с коллекторами с металлическими корпусами несомненны. Простота, надежность и работоспособность коллекторов на пластмассе сочетаются с высокой экономической эффективностью. Внедрение пластмасс в производство коллекторов электрических машин снижает себестоимость и расход материалов, сокращает производственный цикл, уменьшает трудоемкость изготовления. При проектировании новых машин применение коллекторов на пластмассе сокращает габариты машин и резко уменьшает удельные капитальные затраты.

Интересны следующие данные: перевод на пластмассу коллекторов генераторов ГСО-300 и ПСО-300 при годовой программе 23 000 шт. требует 40 800 кг массы К-6. Одновременно достигается экономия материалов: коллекторной меди — 70 040 кг, стального проката — 312 720 кг, чугуна — 24 000 кг, формовочного микаслюдинита — 5 750 кг, коллекторного слю-

динита — 2836 кг. Затраты на производственную зарплату снижаются на 13 100 руб/год, а общая годовая экономия составляет 176 214 руб.

Сравнительный анализ стоимости коллекторов с металлическими и пластмассовыми корпусами и пакетом, собранным из отдельных профильных пластин, показал, что коллекторы на пластмассе на 30—55%¹ дешевле коллекторов с металлическими корпусами [Л. 57].

Величина экономии оказалась существенной, несмотря на то, что коллекторы машин ПН-17,5, ПН28,5, РД-2 и ДК-106 переведены на пластмассу без изменения высоты коллекторных пластин. Стоимость коллектора двигателя преобразователя ДК-604, в котором при переводе на пластмассу была применена более совершенная конструкция пластин, более чем вдвое ниже, чем стоимость коллектора старой конструкции.

При изготовлении пакета коллектора из цельной заготовки себестоимость оказывается еще ниже, чем кол-

Таблица 33

Сравнительные данные по себестоимости и расходу меди при изготовлении коллекторов диаметром 25 мм на массе К-6 с пакетом из цельной кольцевой заготовки и из отдельных пластин

Технико-экономические данные	Коллектор с пакетом из отдельных пластин конструкции 1—1	Коллектор с пакетом из цельной кольцевой заготовки (конструкция пластины 16—7)
Вес готового коллектора, г	29	16
Вес пакета коллекторных пластин в готовом коллекторе, г	22	8
Вес заготовок коллекторных пластин, г	45	17
Отходы меди	23	9
Производственная зарплата, коп.	16	8
Стоимость материала, коп	16	3
В том числе:		
а) стоимость пластмассы, %	6	32
б) стоимость комплекта заготовок коллекторных пластин, %	49	68
в) стоимость коллекторного миканита, %	45	—
Заводская себестоимость, коп.	65	39

лектора на пластмассе с пакетами из отдельных пластин (табл. 33).

Коллектор на пластмассе может быть выполнен меньшей длины. При этом соответственно могут быть уменьшены длина вала и длина переднего щита или станины, что влечет за собой уменьшение длины и снижение веса всей машины (табл. 34).

Таблица 34

Уменьшение веса и аксиальных размеров коллекторов и машин при переводе коллекторов на пластмассу

Тип машины . . .	ПН17,5	ПН28,5	РД-2	ДК-604	ДК-106*
Диаметр коллектора, мм	86	130	210	315	460
Общая длина коллектора, мм:					
на металле	58	83	150	208	310
на пластмассе	55	77	110	158	270
Вес коллектора, кг:					
на металле	1,65	5,55	23	42	161
на пластмассе	1,25	4,72	17	25	147,5
Сокращение длины машины, мм	3	6	40	100	40
Сокращение веса машины, кг	0,9	1,6	8	40	70

*Размеры и вес коллектора двигателя ДК-106 указаны с учетом переходной нажимной шайбы.

Необходимо отметить важность учета экономических факторов при выборе прессматериала. В последнее время многие предприятия изготавливают коллекторы только на массе АГ-4 и переводят на нее даже те коллекторы, которые ранее изготавливались на массе К-6. Между тем стоимость массы АГ-4, хотя и не имеющей металлических включений и обладающей несколько более высокой механической прочностью, все же в несколько раз выше, чем массы К-6.

Прессматериал АГ-4 следует применять главным образом для коллекторов наиболее ответственных крупных машин высокого напряжения и машин с изоляцией класса Н. Вместе с тем следует организовать производство массы типа К-6 с асбестовым волокном, предварительно пропущенным через магнитный сепаратор, что

еще более расширяет область применения этого материала.

При изготовлении коллекторов расходуются в значительных количествах такие дефицитные материалы, как медь и изоляционные материалы на основе слюды. Как видно из табл. 35, расход меди на коллектор двигателя преобразователя ДК-604 при переводе на пластмассу снижен на 35%, а на коллектор с цельной заготовкой пакета пластин — на 62% (см. табл. 33). Ранее было показано, как применение ряда новых конструкций крепежных выступов пластин снижает расход меди. Еще значительно снижается расход миканита и слюдинита. В коллекторах на пластмассе формовочный миканит и микаслюдинит, идущий на изоляционные конусы и цилиндры, вовсе не применяются. Следует иметь в виду, что в коллекторах высокого напряжения для изоляционных конусов употребляются дорогие сорта формовочного миканита.

Применение прогрессивных конструкций коллекторных пластин сокращает расход коллекторного миканита: в коллекторах, пакет которых образован из цельной заготовки, вообще нет слюдяной изоляции, поскольку в них пластины между собой и от втулки изолированы только пластмассой коллекторного корпуса.

Технологический процесс изготовления коллекторов на пластмассе значительно проще процесса изготовления коллекторов с металлическими корпусами. Отпадает необходимость в миканитовых конусах (манжетах), изготовление которых очень сложно, трудоемко и основано на ручном труде.

Не нужны выпекание и подпрессовка пакета пластин до сборки коллектора и подтяжки гайки коллектора под прессом в процессе сборки.

Отпадают операции, связанные с динамической формовкой коллекторов, так как коллекторы на пластмассе не нуждаются в этой операции.

Резко уменьшается объем механической обработки; если для коллектора с металлическим корпусом обрабатываются на станках три детали корпуса и пакет пластин, то для коллектора на пластмассе обрабатывается только центральная втулка.

Коллектор на пластмассе весьма технологичен: не требуются точное сопряжение нажимного конуса с

Таблица 3
Сравнительные данные расхода материалов на коллекторы с металлическим и с пластмассовым корпусом

Тип машины Коллектор Наименование материалов	Генератор ГСО-300 и ПСО-300		РД-21		Двигатель преобразователя ДК-604		ДК-106	
	на металл	на пластмассу	на металл	на пластмассу	на металл	на пластмассу	на металл	на пластмассу
	ле	массе	ле	массе	ле	массе	ле	массе
Расход, кг								
Стальное литье	—	—	13,8	8,5	61	20	168	90
Стальной прокат	15,0	2,0*	13,0	—	—	—	—	0,45
Чугун	6,0	5,0	—	—	—	—	—	—
Проволока стальная	—	—	—	0,04	—	—	—	0,95
Медь коллекторная	9,96	7,0	22,7	21,4**	13,2	8,5	87,8	87,8**
Миканит коллекторный	—	—	2,2	2,2**	2,6	2,2	10,7	10,7**
Слюдинит коллекторный	0,45	0,33	—	—	—	—	—	—
Миканит формовочный	—	—	0,45	—	2,4	—	6,3	—
Микаслюдинит формовочный	0,25	—	—	—	—	—	—	—
Прессовочная масса:	—	—	—	—	—	—	—	—
К-6	—	1,7	—	2,5	—	—	—	—
АГ-4С	—	—	—	—	—	4,6	—	19,0

*Сталь используется для балансировочных грузов, помещаемых в кольцевой выточке втулки коллектора при балансировке якоря.

**Расход коллекторной меди и коллекторного миканита не снижен, так как перевод на пластмассу был осуществлен без изменения размеров коллекторных пластин.

штулкой, миканитовых конусов (манжет) с пластинами и нажимными конусами, выдерживание осевых зазоров между миканитовым конусом, пластинами и нажимным конусом и т. д.

Высокие требования к точности сопрягаемых деталей коллекторов с металлическими корпусами и отсутствие разработанной системы допусков на сопряжение механических деталей коллектора с выточками в пакете пластин и миканитовыми конусами вынуждают строить производство этих коллекторов по замкнутому циклу, начиная от обработки механических деталей до сборки и формования коллектора. Изготовление коллекторов на пластмассе позволяет широко кооперировать специализированные заготовительные цехи. На коллекторном участке следует выполнять лишь операции, связанные с креплением петушков, сборкой пакета пластин, опрессовкой пластмассы и завершающей обработкой коллекторов.

При изготовлении коллекторов на пластмассе исключается образование мелкой медной стружки при вытачивании ласточкиных хвостов в пакетах пластин, что имеет место у коллекторов с металлическими корпусами и является причиной недоброкачественности многих коллекторов из-за замыкания стружкой соседних пластин.

При изготовлении коллекторов, у которых пакет пластин образован из цельной заготовки, трудоемкое продоруживание коллектора может заменяться наружным протягиванием.

При изготовлении коллекторов на металлических корпусах преобладает ручной труд, а коллекторы на пластмассе в основном выполняются на станочном и прессовом оборудовании, что дает возможность в ближайшем будущем почти полностью механизировать и даже автоматизировать все операции их изготовления. Этому в значительной степени должно способствовать сосредоточение производства коллекторов на специализированных предприятиях.

При переходе на коллекторы с пластмассовым корпусом резко сокращается производственный цикл. Для микроколлекторов и малых коллекторов производственный цикл сокращается в 2—2,5 раза, для средних и крупных — в 3—3,5 раза. Трудоемкость изготовления

Таблица 36

Сравнительные данные о потребности для изготовления коллекторов с металлическими и пластмассовыми корпусами на 1 000 преобразователей типа ДК-604

[illegible]

***Для фрезерования пластин коллектора генератора.**

коллекторов на пластмассе на 20—50% ниже, чем коллекторы с металлическими корпусами.

Для изготовления коллекторов на пластмассе требуется примерно на одну треть меньше оборудования, чем при производстве коллекторов с металлическими корпусами, хотя производство первых и более механизировано. Табл. 36 дает представление о том, как изменяются состав и количество оборудования при переводе коллекторов на пластмассу. В таблице приведены данные о необходимом оборудовании для изготовления коллекторов на 1 000 преобразователей ДК-604 (в каждом преобразователе имеются два коллектора диаметром 315 мм и один коллектор диаметром 240 мм).

В связи с меньшим количеством оборудования и сокращенными производственными циклами для производства коллекторов на пластмассе требуется производственных площадей на 30—40% меньше, чем для коллекторов с металлическими корпусами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. Е., Конструкция электрических машин, Госэнергоиздат, 1958.
2. Алексеев А. Е., Тяговые электродвигатели, Трансжелдориздат, 1951.
3. Аллик А. А., Щербаков А. В., Высокопрочная электроизоляционная пластическая масса АГ-4, ЛДНТП, 1959.
4. Альтман А. Б., Мемелов В. Л., Карпова В. Н., Исследование коллекторных пластин и контактных колец из порошков, «Вестник электропромышленности», 1960, № 9.
5. Бабаджанян П. А., Люсин Б. И., Конструкция и производство коллекторов электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.
6. Бертинов А. И., Ризник Г. А., Проектирование авиационных электрических машин постоянного тока, Оборонгиз, 1958.
7. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М., Расчет на прочность деталей машин, Машгиз, 1959.
8. Бобырев М. И., Розенбаум С. М., Новые методы изготовления коллекторов, ЦБТИ Воронежского совнархоза, 1959.
9. Варденбург А. К., Пластические массы в электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1957.
10. Виноградов Н. В., Производство электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.
11. Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А., Сергеев П. С., Проектирование электрических машин, Госэнергоиздат, 1956.
12. Горяинова А. В., Стеклопластики в машиностроении, Машгиз, 1961.
13. Губенко А. Б., Конструкции с применением пластмасс, Госстройиздат, 1961.

14. Гуляев А. С., Новый стекловолокнистый прессматериал АГ-4 и его изготовление, ВИНТИ, тема 19, 1959.

15. Детинко Ф. М., О расчете прочности коллекторов с бандажными кольцами, сб. завода «Электросила», 1957, № 15.

16. Домбровский К. Ф., Железный коллектор, «Вестник электропромышленности», 1939, № 2—3.

17. Егоров Б. А., Производство и ремонт коллекторов крупных электрических машин, Госэнергоиздат, 1959.

18. Ермолин А. П., Расчет маломощных коллекторных машин, Госэнергоиздат, 1955.

19. Завгородний В. К., Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Машгиз, 1960.

20. Красовский Б. Н., Вопросы прочности электрических машин, Изд. АН СССР, 1951.

21. Красовский Б. Н., Выбор конструкции коллектора электрической машины, «Вестник электропромышленности», 1958, № 1.

22. Кузьмин В. И., Линдер М. И., Изготовление коллекторов малогабаритных электродвигателей методом гальванопластики, Оборонгиз, НИИТ, Производственно-технический сборник, 1961, № 10.

23. Лейкин Н. Н., Конструирование пресс-форм для изделий из пластических масс, Машгиз, 1961.

24. Михеев М. А., Основы теплопередачи, Госэнергоиздат, 1949.

25. Назаров В. И., Механические ножницы для измельчения материала АГ-4С, ЦИТЭИН, 1961.

26. Наумов А. Г., Эйтминичев С. К., Изготовление пакетов коллекторов методом ударного выдвливания, Информационно-технический сборник № 14(167) ЦБТИ электропромышленности, 1959.

27. Огибалов П. М., Ломакин В. А., Механические свойства стеклопластиков, Инженерный сборник, т. XXX, 1960.

28. Панферов К. В., Романенков И. Г., Влияние влаги на физико-механические свойства стеклопластиков, «Пластические массы», 1960, № 11.

29. Перевозский Н. Ф., Основные требования к материалу для коллекторных пластин, «Вестник электропромышленности», 1932, № 8—9.

30. Ратнер С. Б. и др., Механические испытания пластических масс, «Пластические массы», 1960, № 9.

31. Тарнопольский Ю. М., Применение параметрических методов для оценки длительной прочности пластмасс, Известия АН Латв. ССР, 1961, № 4.

32. Тарнопольский Ю. М., Учет сдвигов при изгибе балки на упругом основании, Сб. «Вопросы динамики и прочности», вып. VI, Рига, 1959.

33. Тарнопольский Ю. М., Акунц К. А., Нагрузки, действующие на элементы коллектора на пластмассе. Известия АН Латв. ССР, 1959, № 1.

34. Тарнопольский Ю. М., Акунц К. А., Петров А. В., Влияние параметров прессования на прочность стеклопластика АГ-4, «Пластические массы», 1962, № 4.

35. Тарнопольский Ю. М., Акунц К. А., Петров А. В., Применение пластмасс в конструкциях коллекторов электрических машин, «Пластические массы», 1961, № 10.

36. Толвинский В. А., Электрические машины постоянного тока, Госэнергоиздат, 1956.

37. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Петров А. В., Акунц К. А., Конструкция, расчет и технология производства коллекторов диаметром до 500 мм на пластмассовых корпусах, ЦБТИ ЭП, 1959.

38. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Петров А. В., Акунц К. А., Коллекторы электрических машин на пластмассовых корпусах, «Вестник электропромышленности», 1961, № 4.

39. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Петров А. В., Акунц К. А., Коллекторы электрических машин больших диаметров с пластмассовыми корпусами, ЦИНТИ ГНТК РСФСР, 1961, вып. 8.

40. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Коллекторы электрических машин диаметром 200—500 мм на несущем пластмассовом корпусе, Техничко-экономический бюллетень «Народное хозяйство Советской Латвии», 1959, № 3.

41. Фиш А. Я., Изготовление коллекторов на новых пластмассах, Сб. «Новые разработки и развитие производства электрических машин постоянного тока», ЦИНТИэлектропром, 1960.

42. Фиш А. Я., Коллекторы с пластмассовыми корпусами. Научно-технический сборник «Электротехническая промышленность и приборостроение», 1960, № 11.

43. Черников В. А., Технология производства металлокерамических коллекторов к микромашинам, Научно-технический сборник «Электротехническая промышленность и приборостроение», 1961, № 3.

44. Черняк К. И., Эпоксидные компаунды и их применение, Судпромгиз, 1959.

45. Авторские свидетельства на изобретения № 131818 и 131819, «Бюллетень изобретений», 1960, № 8.

46. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Технические преимущества и экономическая эффективность применения коллекторов на пластмассе, Сб. «Электротехническая промышленность и приборостроение», 1963, № 1.

47. Методика расчета коллекторов на пластмассе, Инструкция по расчету, ИАМ АН Латв., ССР, РЭЗ, Рига, 1960.

48. Конструкция и изготовление коллекторов электрических машин (1958—1960). Тематическая библиография, Научно-технический сборник «Электротехническая промышленность и приборостроение», 1961, № 3.

49. Goldfein S., ASTM Bulletin, 1957, № 224, 225.

50. Harey A., John L., Брит. патент К 135, 83(2), № 814679, 10.06.59.

51. Machinery, т. 77, 1950, № 1968.

52. Machinery, т. 84, 1954, № 2158.

53. Power Eng., т. 2, 1958, № 10.

54. Voll S., Немецкий патент № 813275, класс 21, группа 59.

55. Schaefer F., Патент США № 2, 889, 476.

56. Ciba, Die Araldit-Produkte. Sortiment, August 1960; Ciba Gebrauchsanweisung für Araldit-Giessharz F., Harten 972 oder Härten 974.

Ciba, Provisorische Arbeitsvorschrift, Araldit-Giessharz F., Härten 912.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
28	23 сверху	[Л. 46].	[Л. 47].
61	Формула (76)	$h_k=0,0136 \cdot 10^{-2} D_k^{0,58} \dots$	$h_k=0,0136 D_k^{0,58} \dots$
94	Табл. 20	$0,32 \cdot 10^{-6}$ $0,27 \cdot 10^{-6}$ $0,27 \cdot 10^{-6}$	$0,32 \cdot 10^6$ $0,27 \cdot 10^6$ $0,27 \cdot 10^6$
104	15 снизу	35%).	3,5%)